

Dynamische mentale Repräsentationen bei  
Kindern und Erwachsenen:  
Der Einfluss von Perzeption und Kognition auf  
das representational momentum

Abhandlung  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Philosophischen Fakultät  
der Universität Zürich

Vorgelegt von Moritz Matthäus Daum

von Deutschland

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. Friedrich Wilkening und PD Dr. Peter Brugger

Zürich, den 4. Januar 2005

## Danksagung

Die erfolgreiche Durchführung der beschriebenen Experimente und das Zustandekommen dieser Arbeit war nur durch die Mithilfe vieler Personen möglich, denen ich im Folgenden danken möchte:

- Meinem Doktorvater Prof. Dr. Friedrich Wilkening für die Aufnahme am Psychologischen Institut der Universität Zürich und seine Unterstützung, durch die diese Arbeit verwirklicht werden konnte.
- Meiner Frau Eva-Maria Schöning für ihre umfassende Unterstützung.
- Meinen Eltern Christina und Manfred Daum, die mich während meines Studiums und auch meiner Dissertation unterstützt haben.
- Dominik Orth für seine tatkräftige Hilfe bei der Durchführung der Experimente. Ebenfalls Franziska Reichelmeier für die Mithilfe bei der Datenerhebung.
- Andrea Frick für ihre Hilfe bei der Planung und der Umsetzung der verschiedenen Untersuchungen.
- Dem Team der Fachgruppe Allgemeine und Entwicklungspsychologie der Universität Zürich für die wertvollen Diskussionen.
- Thomas Jarchow für seine Hilfe bei immer wieder auftretenden Computerproblemen.
- Caroline Moor, die sich neben meiner Frau und meinen Eltern der Mühsal des Korrekturlesens unterworfen hat.
- Allen Versuchspersonen für die Teilnahme an den einzelnen Untersuchungen.
- Den Schülerinnen und Schülern zweier Zürcher Schulen und den Kindergartenkindern eines Zürcher Kindergartens für ihre interessierte Teilnahme an den Untersuchungen.
- Den Eltern der Schülerinnen, Schüler und Kindergartenkinder für die Erlaubnis der Teilnahme an den Untersuchungen.
- Den Lehrerinnen und Lehrern, sowie den beiden Kindergärtnerinnen, für die freundliche Bereitschaft, die Untersuchungen in der Schule und im Kindergarten durchführen zu dürfen.
- Allen weiteren Personen die in irgendeiner Form zum erfolgreichen Gelingen der Experimente und der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

## **Zusammenfassung**

Die zuletzt gesehene Position eines sich bewegenden Objekts wird häufig in Richtung der vorangegangenen Bewegung verschoben erinnert. Dieser Lokalisationsfehler wurde in Analogie zur physikalischen Trägheit *Representational Momentum* genannt und ist abhängig von Faktoren wie der Objektgeschwindigkeit, der Gravitationskraft, dem Alter der Versuchspersonen und dem konzeptuellen Wissen über die Funktion eines Objekts. In der vorliegenden Arbeit wird von zwei Untersuchungen zum Representational Momentum berichtet.

Im ersten Teil wurde das Representational Momentum bei Kindern im Alter von fünf bis zehn Jahren und Erwachsenen mit einer nonverbalen Zeige-Aufgabe untersucht. Die letzte Position eines sich bewegenden Objektes sollte direkt auf einem berührungsempfindlichen Bildschirm angezeigt werden. Neben dem schon früher gefundenen Effekt der Objektgeschwindigkeit zeigte sich ein Entwicklungsverlauf: Der Lokalisationsfehler wurde mit steigendem Alter kleiner. Mentale Repräsentationen sich bewegendes Objekte unterliegen demnach einem Entwicklungstrend.

Im zweiten Teil wurden kognitive Einflussfaktoren auf das Representational Momentum untersucht. Das Wissen der Versuchspersonen über die Intention eines Objektes wurde variiert. Der Lokalisationsfehler war dabei grösser wenn sich das Objekt in Richtung eines attraktiven Zieles bewegte, als wenn es sich in Richtung eines abstossenden Zieles bewegte. Das Wissen über die Intention eines Objekts kann also die mentale Repräsentation dieses Objekts beeinflussen.

Mögliche Erklärungen für diese Befunde werden diskutiert: Einerseits können die Ergebnisse durch Unterschiede in der Verarbeitung visueller Information in Bezug auf Handlung und Wahrnehmung zu Stande kommen. Andererseits unterscheidet sich die subjektiv wahrgenommene Geschwindigkeit möglicherweise von der tatsächlichen Geschwindigkeit eines Objekts und kann so das Representational Momentum unterschiedlich beeinflussen.

## Abstract

The final position of a moving object is remembered shifted in the direction of the preceding motion. In analogy to the physical principle of momentum, this localization error (LE) was called *representational momentum*. Factors like object velocity, direction of gravitation and age of the participants have been found to influence this localization error. The presented doctoral thesis reports of two series of experiments about representational momentum using a direct and non-verbal pointing task, which is more suitable for research with children than traditional methods.

In the first series of experiments children at the age of five to ten years and adults were asked to localize the final visible position of a moving target on a touchscreen. As shown in earlier studies, the LE was larger for faster moving targets than for slower moving targets. Additionally a developmental trend was found: The LE decreased with age. Mental representations therefore seem to develop with age.

In the second series of experiments, cognitive factors influencing representational momentum were investigated. Participants' knowledge about the intention of the moving target was varied. The LE was larger if the target moved towards an attracting goal than if it moved towards a repelling goal. Knowledge about the intention of an object therefore can influence the mental representation of this object.

Possible explanations of these findings are discussed: The results can be explained either by differences in processing visual information used for an action and visual information used for perception. Or the subjectively perceived target velocity differs from the objective target velocity and the amount of representational momentum is influenced by this subjective velocity.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeine Einführung</b>	<b>5</b>
1.1	Repräsentationen . . . . .	5
1.2	Dynamische Repräsentationen . . . . .	6
1.3	Representational Momentum . . . . .	10
1.3.1	Untersuchungen von Jennifer Freyd, Ronald Finke und Kollegen . . . . .	10
1.3.2	Untersuchungen zum Representational Momentum von Timothy Hubbard und Kollegen . . . . .	23
1.3.3	Befunde von Dirk Kerzel und Kollegen . . . . .	39
1.3.4	Kognitive Penetrabilität und Modularität . . . . .	50
1.3.5	Weitere Befunde . . . . .	54
1.3.6	Zusammenfassung bisheriger Befunde . . . . .	55
1.3.7	Methodik und neueste Befunde . . . . .	57
1.3.8	Ziel und Aufbau der vorliegenden Arbeit . . . . .	61
<b>2</b>	<b>Entwicklungspsychologischer Teil</b>	<b>63</b>
2.1	Einführung . . . . .	63
2.2	Experiment 1.1 - Representational Momentum in der Entwicklung	64
2.2.1	Methode . . . . .	64
2.2.2	Resultate . . . . .	67
2.2.3	Diskussion . . . . .	83
2.3	Experiment 1.2 - Durchführung von Experiment 1.1 mit Finger . .	87
2.3.1	Methode . . . . .	87
2.3.2	Resultate . . . . .	88
2.3.3	Diskussion . . . . .	91
2.4	Experiment 1.3 - Einfluss der benutzten Hand auf die Richtungs- effekte . . . . .	93
2.4.1	Methode . . . . .	93
2.4.2	Resultate . . . . .	94
2.4.3	Diskussion . . . . .	102

2.5	Experiment 1.4 - Durchführung mit rechter und linker Hand mit Stift . . . . .	104
2.5.1	Methode . . . . .	104
2.5.2	Resultate . . . . .	105
2.5.3	Diskussion . . . . .	107
2.6	Auswertung der statischen Einführungsdurchgänge . . . . .	108
2.6.1	Resultate der statischen Einführungsdurchgänge . . . . .	109
2.6.2	Diskussion . . . . .	115
2.7	Experiment 1.5 - Linien-Halbierungs-Aufgabe in der Entwicklung .	117
2.7.1	Methode . . . . .	119
2.7.2	Resultate . . . . .	119
2.7.3	Diskussion . . . . .	124
2.8	Experiment 1.6 - Einfluss der Reaktionszeit auf den Lokalisations- fehler . . . . .	125
2.8.1	Resultate . . . . .	127
2.8.2	Diskussion . . . . .	128
2.9	Experiment 1.7 - Der Einfluss einer Landmarke auf vertikale und horizontale Bewegung . . . . .	129
2.9.1	Methode . . . . .	129
2.9.2	Resultate . . . . .	130
2.9.3	Diskussion . . . . .	133
2.10	Experiment 1.8 - Konstante vs. beschleunigte Targetgeschwindigkeit	134
2.10.1	Methode . . . . .	135
2.10.2	Resultate . . . . .	136
2.10.3	Diskussion . . . . .	138
2.11	Allgemeine Diskussion - Experiment 1 . . . . .	139
2.11.1	Entwicklungspsychologie . . . . .	140
2.11.2	Gravitation . . . . .	147
2.11.3	Methodik . . . . .	149
2.11.4	Linien-Halbierungs-Aufgabe . . . . .	149

<b>3</b>	<b>Konzeptuelles Wissen über das zu lokalisierende Objekt</b>	<b>151</b>
3.1	Einführung . . . . .	151
3.2	Experiment 2.1 - Variation der Intention eines sich bewegenden Objekts - Die Maus will zum Käse und nicht zur Katze . . . . .	152
3.2.1	Methode . . . . .	153
3.2.2	Resultate . . . . .	156
3.2.3	Diskussion . . . . .	158
3.3	Experiment 2.2 - Variation der Intention eines sich bewegenden Objekts - Abstrakte Version von Experiment 2.1 . . . . .	159
3.3.1	Methode . . . . .	159
3.3.2	Resultate . . . . .	161
3.3.3	Diskussion . . . . .	164
3.4	Experiment 2.3 - Variation der Intention eines sich bewegenden Objekts - Abstrakte und konkrete Bedingung in einem Within- Subject-Design . . . . .	164
3.4.1	Methode . . . . .	165
3.4.2	Resultate . . . . .	167
3.4.3	Diskussion . . . . .	168
3.5	Experiment 2.4 - Variation der Intention eines sich bewegenden Objekts - Zielobjekt wird bei Bewegung maskiert. . . . .	169
3.5.1	Methode . . . . .	170
3.5.2	Resultate . . . . .	170
3.5.3	Diskussion . . . . .	172
3.6	Experiment 2.5 - Kontrolle der Grösse des Zielobjekts . . . . .	173
3.6.1	Methode . . . . .	174
3.6.2	Resultate . . . . .	174
3.6.3	Diskussion . . . . .	176
3.7	Experiment 2.6 - Kontrolle der Grösse des sich bewegenden Targets	176
3.7.1	Methode . . . . .	177
3.7.2	Resultate. . . . .	178
3.7.3	Diskussion. . . . .	180

3.8	Experiment 2.7 - Kontrolle der Farbe der abstrakten Zielobjekte .	181
3.8.1	Methode . . . . .	181
3.8.2	Resultate . . . . .	182
3.8.3	Diskussion . . . . .	182
3.9	Experiment 2.8 - Kontrolle der Wirkung der konkreten Zielobjekte (Käse, Katze) als Landmarke . . . . .	183
3.9.1	Methode . . . . .	183
3.9.2	Resultate . . . . .	184
3.9.3	Diskussion . . . . .	185
3.10	Experiment 2.9 - Kontrolle der Helligkeit einer Landmarke . . . .	185
3.10.1	Methode . . . . .	185
3.10.2	Resultate . . . . .	187
3.10.3	Diskussion . . . . .	195
3.11	Experiment 2.10 - Kontrolle der Helligkeit einer Landmarke - Nur der untere Teil des Helligkeitsspektrums wird getestet . . . . .	196
3.11.1	Methode . . . . .	196
3.11.2	Resultate . . . . .	197
3.11.3	Diskussion - erster Teil . . . . .	205
3.11.4	Diskussion - zweiter Teil . . . . .	208
3.12	Experiment 2.11 - Kontrolle des Effekts einer vorgestellten Landmarke . . . . .	209
3.12.1	Methode . . . . .	210
3.12.2	Resultate . . . . .	211
3.12.3	Diskussion . . . . .	212
3.13	Allgemeine Diskussion - Experiment 2 . . . . .	213
3.13.1	Der Einfluss von konzeptuellem Wissen . . . . .	214
3.13.2	Einflüsse von Landmarken . . . . .	217
3.13.3	Einfluss von Form und Grösse des Targets . . . . .	220
<b>4</b>	<b>Allgemeine Diskussion</b>	<b>221</b>
	<b>Literatur</b>	<b>223</b>



# 1 Allgemeine Einführung

## 1.1 Repräsentationen

Eine der wichtigsten Grundlagen die das menschliche Denken und Handeln steuert, ist die Fähigkeit, die externe Welt intern abbilden zu können. Der Mensch kann sich eine interne, mentale Repräsentation der Aussenwelt erstellen. Diese Fähigkeit ermöglicht es, Vergangenes zu erinnern, aktuelle Probleme zu lösen und zukünftige Handlungen zu planen und antizipieren. Eine Frage, die sich stellt ist, *wie* die externe Welt in unseren Köpfen repräsentiert ist. In der sogenannten Imagery-Debate wurde (Kosslyn, 1980; Kosslyn & Pomerantz, 1977; Pylyshyn, 1973, 1981) und wird immer noch (Kosslyn, 1999; Kosslyn, Ganis, & Thompson, 2001; Pylyshyn, 2002, 2003) diskutiert, ob solche Repräsentationen bildlich oder propositional sind. Aus der Sicht Kosslyns und Kollegen sind unsere mentalen Repräsentationen zumindest analog. Wenn wir uns ein Objekt vorstellen, dann „sehen“ wir dieses vor unserem inneren Auge (*before our mind's eye*). Wenn wir uns zum Beispiel ein Haus vorstellen, dann sehen wir vor unserem inneren Auge ein bestimmtes oder ein prototypisches Haus. Diese Sicht wurde als *depictive* (bildhaft) bezeichnet, weil sie die Repräsentationen als bildhaft beschreibt. Zenon Pylyshyn ist dagegen der Meinung, dass unsere Repräsentationen propositional sind. Die Vorstellung eines Objekts setzt sich aus semantischen Beschreibungen dieses Objekts zusammen. Stellt man sich wieder ein Haus vor, wird dieses Haus als ein Gebäude mit Wänden, einem Dach, Fenstern und Türen vorgestellt. Die räumliche Auflösung einer solchen propositionalen Vorstellung ist beliebig, da auch kleinste Details immer wieder neu beschrieben werden können. Eine solche semantische Vorstellung wurde *descriptive* (beschreibend) genannt; sie beschreibt das Vorgestellte verbal. Viele der empirischen Befunde von beiden Seiten liessen lange Zeit keine endgültige Entscheidung zu, welche der beiden Möglichkeiten der Wahrheit näher kommt. Erst neuere Befunde konnten zeigen, dass Areale des Neokortex, die für das Sehen benötigt werden, auch während mentaler Vorstellung aktiv sind (Kosslyn, Thompson, Kim, & Alpert, 1995). Wenn die gleichen Areale während dem Sehen und der Vorstellung aktiv sind, spricht das

für eine eher bildhafte Form unserer Vorstellung. Die Imagery-Debate ist damit nicht vorbei (Pylyshyn, 2002, 2003). Pylyshyn streitet nicht ab, dass Repräsentationen bildhaft sein können. Er sieht aber das Bildhafte als Epiphänomen einer zu Grunde liegenden propositionalen Form von Repräsentationen. Er vergleicht bildhafte Repräsentationen mit der Hitze einer Glühbirne, die entsteht, wenn Licht erzeugt wird. Dies hat jedoch nichts mit der eigentlichen Funktion der Glühbirne zu tun, nämlich Licht zu spenden (Pylyshyn, 1973)<sup>1</sup>.

## 1.2 Dynamische Repräsentationen

Vorläufiges Ergebnis der Imagery-Debate ist, dass Repräsentationen wahrscheinlich sowohl propositional als auch analog sein können. Dabei ist am wichtigsten, dass sie es unabhängig von ihrer tatsächlichen Form ermöglichen, mit der Umwelt zu interagieren.

In den meisten Studien zur mentalen Vorstellung wurden Repräsentationen statischer Objekte untersucht, gerade bei der Repräsentation von Objektkategorien. Die mentale Repräsentation eines Hundes kann als Bild eines typischen Hundes in einer typischen Ansicht beschrieben werden (Kosslyn, 1980) oder als Netzwerk aus Eigenschaften und Merkmalen (Anderson & Bower, 1973; Collins & Quillian, 1969). Auch wurden Prozesse der Erkennung von statischen Objekten (Biedermann & Gerhardstein, 1993; Cooper, Biedermann, & Hummel, 1992; Cooper & Schacter, 1992; Cooper, Schacter, Ballesteros, & Moore, 1992) und die Struktur von mentalen Repräsentationen statischer Objekte bereits vielfach untersucht (z.B. Anderson, 1976; Shepard & Cooper, 1982).

Eine Interaktion mit der Umwelt erfordert immer auch das Wahrnehmen und Erkennen sich bewegender Objekten. Entweder bewegen wir uns oder ein Objekt bewegt sich selbstständig in unserer Umwelt. In beiden Fällen verändert sich das Bild dieses Objekts auf unserer Retina über die Zeit. Die Wichtigkeit der Bewegungsdetektion und -wahrnehmung in der menschlichen Wahrnehmung

---

<sup>1</sup>Rein physikalisch sind Wärme und Licht allerdings dasselbe. Beides sind elektromagnetische Wellen mit nur leicht unterschiedlicher Wellenlänge (Licht: 400 - 800 nm, Wärme > 1000 nm. Physiologisch werden Licht und Wärme unterschiedlich wahrgenommen, Licht über das visuelle System und Wärme über die Wärmeempfindlichkeit der Haut.)

und Kognition wurde oft beschrieben (Gibson, 1979; Jones, 1976). Es gibt zum Beispiel Hinweise, dass wir Veränderungen in der Umwelt eher wahrnehmen als stabile Begebenheiten (Johansson, 1975). Es ist also wahrscheinlich, dass wir kognitive Strukturen besitzen die sich spezifisch zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Repräsentation dynamischer Information entwickelt haben. Wie aber werden diese dynamischen Prozesse mental repräsentiert? Wie werden zum Beispiel die unterschiedlichen Bilder eines sich bewegenden Objekts integriert, damit wir eine kontinuierliche Bewegung erkennen?

Freyd (1987) stellte zwei Bedingungen an eine dynamische mentale Repräsentation: 1) In einer dynamischen mentalen Repräsentation muss die Zeit analog repräsentiert sein. Die repräsentierte Zeit hat ähnliche inhärente Eigenschaften wie die reale Zeit. Palmer (1978) benutzte die Terminologie *intrinsisch*; eine intrinsische Repräsentation ist dann gegeben, wenn die Repräsentation eines Objekts (engl. *representing relation*) denselben Bedingungen unterliegt, wie das reale Objekt (engl. *represented relation*). 2) In einer dynamischen mentalen Repräsentation muss die Zeit zwingend mitrepräsentiert sein. Die Zeit als repräsentierte Dimension kann nicht aus einer dynamischen Repräsentation ausgeschlossen werden. Ohne die Dimension Zeit kann eine Repräsentation nicht dynamisch sein. Diese zeitliche Dimension führt zu weiteren Erfordernissen an die dynamische mentale Repräsentation: Sie muss gerichtet sein - die Zeit ist immer vorwärts gerichtet<sup>2</sup> - und sie muss kontinuierlich sein - zwischen zwei Zeitpunkten liegt immer ein weiterer Zeitpunkt. Freyd (1987) grenzt ihre Sicht der dynamischen mentalen Repräsentationen ab von episodischen Erinnerungen im Langzeitgedächtnis. Sie bezieht sich nur auf Repräsentationen im „Arbeitspeicher“, welche im Moment gerade benutzt werden.

Freyd (1987) benutzt den Begriff „dynamisch“ um die Form mentaler Repräsentationen zu beschreiben, welche eine Bewegung über die Zeit beinhalten. Dynamisch steht in diesem Zusammenhang einerseits für „nicht statisch“, aber auch für die spezifischere Bedeutung von physikalischer Bewegung und deren

---

<sup>2</sup>Diese Sicht ist nur für die menschliche Wahrnehmung der Zeit richtig. Physikalisch gesehen ist die Zeit kein Vektor. Speziell in der Physik der Elementarteilchen muss die Zeit umkehrbar sein, um Antimaterie erklären zu können.

Ursachen. Der Begriff dynamisch könnte in manchen Fällen durch *kinematisch* oder *zeitlich/temporal* ersetzt werden. Im Folgenden soll aber für alle Repräsentationen, in denen Veränderungen über die Zeit vorkommen, der Begriff *dynamisch* verwendet werden.

Dynamische Information kann aus statischen Bildern gewonnen werden. Freyd (1983b) präsentierte ihren Versuchspersonen ein statisches Bild mit dynamischem Inhalt, zum Beispiel eine Person, die von einer kleinen Mauer herunter springt. Kurz nach dem ersten Bild wurde ein zweites Bild gezeigt. Dieses war kurze Zeit vor oder kurze Zeit nach dem ersten Bild aufgenommen. Es sollte beurteilt werden, ob das zweite Bild mit dem ersten übereinstimmt oder nicht. Es fiel den Versuchspersonen schwerer, das zweite Bild vom Originalbild zu unterscheiden, wenn es nach dem Originalbild aufgenommen wurde, als wenn es davor aufgenommen wurde (siehe auch Freyd, 1983a; Freyd & Pantzer, 1995; Freyd, Pantzer, & Cheng, 1988; Intraub, 2002; Intraub, Gottesman, & Bills, 1998; Shiffrar & Freyd, 1990, 1993; Verfaillie & Daems, 2002). Kourtzi und Nakayama (2002) zeigten allerdings, dass die Mechanismen einer Repräsentation statischer Objekte mit dynamischem Inhalt unterschiedlich sind von einer Repräsentation bewegter Objekte. Ein statisches Objekt wird als Generalisierung der Ansicht dieses statischen Objekts repräsentiert. Die räumliche Ausdehnung ist dabei eingeschränkt. Die Repräsentation bezieht sich vor allem auf das repräsentierte Objekt selbst. Dagegen wird ein bewegtes Objekt auf der Basis der Weiterführung der Bewegungstrajektorie des Objekts repräsentiert. Sowohl die aktuelle Bewegung als auch die Fortsetzung dieser Bewegung werden mental repräsentiert. Dies ist selbst für sehr lange Bewegungstrajektorien möglich. Die räumliche Ausdehnung ist im zweiten Fall sehr viel grösser.

Kurz nach den genannten Befunden von Freyd (1983b) berichteten Freyd und Finke (1984) von einem Lokalisationsfehler bei sich bewegenden Objekten: Die letzte Position eines sich bewegenden Objekts wird in Richtung der vorangegangenen Bewegung verschoben erinnert. In Anlehnung an das physikalische Prinzip der Trägheit nannten sie dieses Phänomen *Representational Momentum* (für einen breiten Überblick über die Forschung zum Representational Momentum

siehe Kapitel 1.3, Seite 10). Dieser Befund und weitere Ergebnisse zu diesem Phänomen wurden als ein Hinweis dafür gesehen, dass mentale Repräsentationen dynamisch sein können.

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl weiterer Studien, die sich mit dynamischen mentalen Repräsentationen beschäftigen und der Art und Weise, wie die Bewegung eines Objekts in die Repräsentation dieses Objekts integriert wird. Untersuchungen zur mentalen Rotation zeigten, dass die Zeit, die es braucht, ein Objekt in der Vorstellung zu rotieren, proportional ist zu der Zeit, die es braucht ein Objekt real zu rotieren (Cooper & Shepard, 1973; Shepard & Metzler, 1971). Je länger die Strecke der Rotation ist, desto länger ist auch die Zeit, die es für die Rotation braucht. Ein weiteres interessantes Phänomen wurde dabei beobachtet: Wenn während der Phase der mentalen Rotation nach der aktuellen Position des Objekts gefragt wird, erhält man als Antwort die Angabe einer Position, die zwischen der Ausgangs- und der Endposition liegt, obwohl diese gar nicht sichtbar ist (Cooper, 1976). Das bestätigt die von Freyd (1987) genannte zweite Anforderung an eine dynamische Repräsentation. Wenn eine dynamische mentale Repräsentation zwischen zwei Zeitpunkten getestet wird, sollte eine Repräsentation zwischen diesen beiden Zeitpunkten erscheinen.

Mittels Brain Imaging konnte gezeigt werden, dass kortikale Areale, die sensitiv für Bewegung sind, auch aktiviert werden, wenn statische Bilder von bewegten Objekten präsentiert werden (Kourtzi & Kanwisher, 2000; Senior et al., 2000; Senior, Ward, & David, 2002).

Zusätzlich gibt es immer mehr Hinweise, dass eine Verbindung von visuellem und motorischem System dazu führt, dass Form und Bewegung eines Objekts nicht unabhängig voneinander repräsentiert werden. Im Besonderen beeinflusst das Aussehen eines Objekts die motorische Interaktion mit diesem Objekt. Grösse, Form und Orientierung eines Objekts bestimmen die Art, wie nach diesem gegriffen wird (Goodale & Milner, 1992). Diese Hypothese wird breit gestützt durch Befunde aus der Neuropsychologie (Sakata, Taira, Kusunoki, Murata, & Tanaka, 1997; Sakata et al., 1998), dem Brain Imaging (Martin, Wiggs, Ungerleider, & Haxby, 1996; Stevens, Fonlupt, Shiffrar, & Decety, 2000), der

Psychophysik (Goodale & Milner, 1992) und Patientenstudien (Goodale, Milner, Jakobson, & Carey, 1991). Aus all diesen Studien geht hervor, dass mentale Repräsentationen von Objekten eher dynamisch als statisch sind. Bewegung und Form werden also nicht unabhängig voneinander repräsentiert.

### 1.3 Representational Momentum

Dynamische Repräsentationen wurden häufig anhand von Fehlleistungen des visuellen Kurzzeitgedächtnisses untersucht. Die Startposition eines sich bewegenden Objekts wird zum Beispiel in Bewegungsrichtung verschoben erinnert (*Fröhlich-Effekt*; z.B. Fröhlich, 1923; Kirschfeld & Kammer, 1999; Müsseler & Aschersleben, 1998; Müsseler & Neumann, 1992). Es kann auch sein, dass die Startposition eines Objekts entgegen der Bewegungsrichtung erinnert wird (*Onset-Repulsion-Effekt*; Thornton, 2002). Eine ähnliche Fehlleistung zeigt sich, wenn parallel zu einem sich bewegenden Objekt ganz kurz ein zweites statisches Objekt präsentiert wird. In dieser Situation entsteht der Eindruck, dass dieses statische Objekt leicht hinter dem sich bewegenden Objekt präsentiert wurde (*Flash-Lag-Effekt*; z.B. Hazelhoff & Wiersma, 1924; Krekelberg & Lappe, 2001; Metzger, 1932; Nijhawan, 1994; Whitney, Murakami, & Cavanagh, 2000). Zudem wird wie schon erwähnt die letzte Position eines sich bewegenden Objekts in Bewegungsrichtung verschoben erinnert (*Representational Momentum*; z.B. Freyd & Finke, 1984; Hubbard & Bharucha, 1988; für einen Überblick siehe auch Hubbard, 1995c). Auf diese zuletzt genannte Fehlleistung wird im Folgenden vertieft eingegangen.

#### 1.3.1 Untersuchungen von Jennifer Freyd, Ronald Finke und Kollegen

Der als Representational Momentum bezeichnete Wahrnehmungs-, Erinnerungs- oder Lokalisationsfehler wurde von Jennifer Freyd und Ronald Finke entdeckt (Freyd & Finke, 1984). Representational Momentum beschreibt das Phänomen, die letzte Position eines sich bewegenden Objekts leicht in Richtung der vorangegangenen Bewegung verschoben zu erinnern. Sie zeigten dies in einem

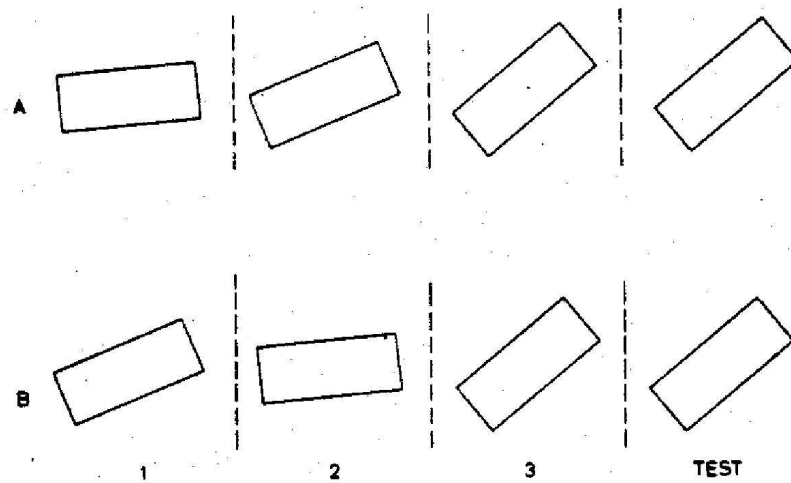


Abbildung 1: Versuchsaufbau Freyd und Finke 1984: (A) Experiment 1, (B) Experiment 2. Drei Ausrichtungen des Originalrechtecks plus Referenzrechteck, die in Experiment 1 in einer sequentiellen Abfolge und in Experiment 2 in einer zufälligen Reihenfolge präsentiert wurden. Die Referenzrechtecke haben in diesem Fall jeweils die gleiche Ausrichtung wie das Originalrechteck. Die weiteren Referenzrechtecke wurden um 6° entweder im oder entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht präsentiert (aus Freyd und Finke, 1984).

Experiment, in welchem sie ein Rechteck in drei aufeinanderfolgenden Orientierungen präsentierten. Diese waren jeweils durch ein Interstimulus-Intervall (ISI) von 250 ms unterbrochen. Die Abfolge der drei Orientierungen des Rechtecks stellte keine echte Bewegung dar, sie sollte eine Bewegung implizieren. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, die Orientierung des zuletzt gesehenen Rechtecks mit der Orientierung eines Referenzrechtecks zu vergleichen. Sie sollten dazu mit „same“ antworten, wenn sie das Gefühl hatten, dass die letzte Orientierung des Rechtecks mit der Orientierung des Referenzrechtecks übereinstimmt oder mit „different“ wenn sie das Gefühl hatten, die beiden Orientierungen stimmten nicht überein (siehe Abbildung 1).

Die Orientierung des Referenzrechtecks war entweder leicht in Bewegungsrichtung oder entgegen der Bewegungsrichtung gedreht, ausgehend von der letzten Position des Originalrechtecks. Die Versuchspersonen hatten mehr Mühe, das Referenzrechteck vom Originalrechteck zu unterscheiden, wenn das Referenz-

rechteck leicht in Bewegungsrichtung gedreht präsentiert wurde, als wenn es leicht entgegen der Bewegungsrichtung gedreht präsentiert wurde. In einem zweiten Experiment zeigten Freyd und Finke (1984), dass dieser Lokalisationsfehler nicht auftrat, wenn die Abfolge der drei Originalrechtecke so vertauscht wurde, dass keine implizite Bewegung mehr entstand. In einem dritten Experiment verlängerten Freyd und Finke (1984) das ISI auf bis zu 500 ms. Der Lokalisationsfehler trat immer noch auf, wenn auch etwas schwächer.

Freyd und Finke (1984) schlossen eine Erklärung des Lokalisationsfehlers durch elementare sensorische Prozesse bezüglich der Wahrnehmung von Bewegung aus. Nachbilder, „iconic memories“<sup>3</sup> und Bewegungsnacheffekte verursachen eher einen Lokalisationsfehler in entgegengesetzter Richtung zur vorangegangenen Bewegung. Sie erklärten diesen Befund damit, dass die mentale Repräsentation eines sich bewegenden Objekts analog zur Bewegung eines realen, physikalischen Objekts verläuft. Die mentale Repräsentation einer Bewegung folgt also den gleichen physikalischen Gesetzen wie eine reale Bewegung. Noch allgemeiner: Mentale Repräsentationen der Umwelt folgen denselben physikalischen Gesetzen wie die reale Umwelt. In Bezug auf das Representational Momentum heisst das, dass ein reales Objekt nicht augenblicklich stoppen kann, sondern einer Trägheit (engl. *momentum*) unterliegt und die mentale Analogie dieser Trägheit führt dazu, dass auch die mentale Repräsentation des sich bewegenden Objekts einer mentalen Trägheit unterliegt. Der Ursprung dieser mentalen Analogie zur physikalischen Trägheit liegt in der Integration der Prinzipien der realen Physik in unser repräsentationales System durch die alltägliche Erfahrung mit physikalischen Prozessen.

Diese Gedanken stimmen auch mit denjenigen von Shepard (1984) überein. Shepard stellte die Hypothese auf, dass viele kognitive Prozesse durch die Internalisierung von Gesetzen der externen Welt zu Stande kommen. In Experimenten zur mentalen Rotation konnten Shepard und Kollegen zeigen, dass die vorge-

---

<sup>3</sup>Ein iconic memory ist ein nur für kurze im Zeit im visuellen Kurzzeitgedächtnis gespeichertes Bild eines visuellen Stimulus. Es tritt zum Beispiel auf, wenn ein Bild betrachtet wird und danach die Augen geschlossen werden. Das vorgestellte Bild, welches vor dem inneren Auge „gesehen“ wird, ist ein iconic memory von dem Bild.



stellte Rotation eines Objekts Ähnlichkeiten mit der tatsächlichen Rotation des Objekts besitzt (Cooper & Shepard, 1973; Shepard & Cooper, 1982; Shepard & Metzler, 1971). Laut Shepard sind diese Zusammenhänge wichtig, weil sie darauf hindeuten, dass der menschliche „Geist“ (engl. *human mind*) viele Gesetze aus der physikalischen Umwelt bezüglich der Bewegung von Objekten internalisiert hat (Shepard, 1981, 1984).

**Geschwindigkeit und Beschleunigung.** Im Anschluss an diese ersten Befunde lieferten Jennifer Freyd und Ronald Finke weitere Evidenz für ihre Hypothese einer mentalen Analogie zur realen Physik. Die physikalische Trägheit ist abhängig von der Geschwindigkeit eines Objekts. Analog müsste auch die mentale Trägheit bei schnellen Objekten grösser sein als bei langsamen. Freyd und Finke (1985) variierten dazu das Interstimulus-Intervall zwischen den Ausrichtungen der einzelnen Rechtecke von 100 ms bis 900 ms. Bei einem kurzen ISI ist die implizierte Rotationsgeschwindigkeit grösser als bei einem langen ISI. Die erhaltenen Ergebnisse zeigten, dass die Verschiebung der erinnerten letzten Position in Richtung der vorangegangenen Bewegung sich mit wachsender Objektgeschwindigkeit vergrösserte. Je schneller sich das Objekt drehte, desto grösser war das Representational Momentum. Die Grösse des Lokalisationsfehlers wuchs dabei linear zur Geschwindigkeit an. Selbst bei einem ISI von 2.0 s zwischen den einzelnen Objektpositionen konnte ein Representational Momentum gefunden werden. Eine solche Zeitspanne liegt weit über denjenigen, bei welchen normalerweise eine implizierte Bewegung noch wahrgenommen werden kann.

Ein weiterer Befund dieser Studie war, dass es sich beim Representational Momentum möglicherweise nicht um einen Wahrnehmungsfehler sondern um einen Erinnerungsfehler handelt. In der ersten Studie (Freyd & Finke, 1984) wurden nur drei Referenzpositionen des Rechtecks gezeigt (50 % waren gleich wie die letzte Position des Targets, 25 % um 6° in Bewegungsrichtung und 25 % um 6° entgegen der Bewegungsrichtung verschoben). Im Gegensatz dazu präsentierten (Freyd & Finke, 1985) insgesamt neun Referenzpositionen. Eine davon stimmte mit der letzten Position des Rechtecks überein, vier waren in unterschiedlichen

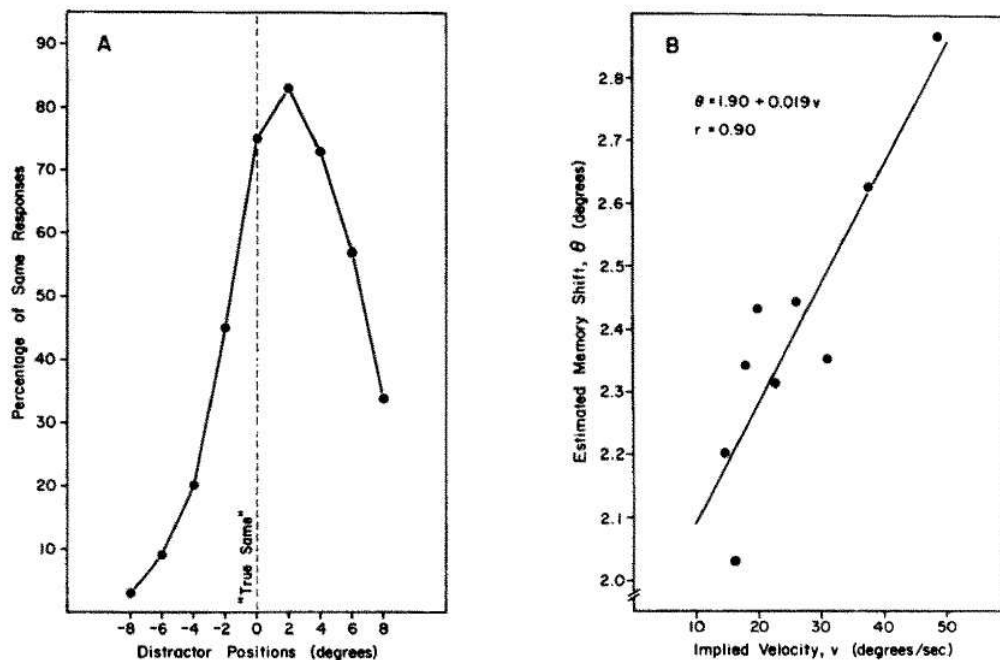


Abbildung 2: Resultate von Freyd und Finke (1985): (A) gemittelt über alle Versuchspersonen und Bedingungen (positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, negative Werte einen Lokalisationsfehler entgegen der vorangegangenen Rotationsrichtung); (B) Geschätzter Lokalisationsfehler einer quadratischen Regression geplottet gegen die implizierte Geschwindigkeit: Der Lokalisationsfehler wird grösser, je schneller sich das Objekt bewegt (aus Freyd, 1987).

Abständen in Bewegungsrichtung verschoben ( $+ 2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ ) und vier waren dementsprechend entgegen der Bewegungsrichtung verschoben. Jede Versuchsperson produzierte eine im Allgemeinen symmetrische, unimodale Verteilung der „same“-Antworten. Das Maximum dieser Normalverteilung war allerdings nicht bei der Referenzposition, die mit der letzten Originalposition übereinstimmte, sondern in Richtung der vorangegangenen Rotation verschoben (siehe Abbildung 2 A). Eine leicht in Bewegungsrichtung verschobene Referenzposition führte zu den häufigsten „same“-Antworten. Die früheren Befunde konnten also nicht darauf zurückgeführt werden, dass die Versuchspersonen zwar die genaue Originalposition des Objekts erinnern konnten, aber einfach eher bereit waren, eine leicht in Bewegungsrichtung verschobene Referenzposition ebenfalls als mit

der Originalposition übereinstimmend zu bezeichnen.

Finke, Freyd und Shyi (1986) testeten weiter, ob auch eine implizierte Beschleunigung sich auf den Lokalisationsfehler auswirkt. Ihre Resultate zeigten, dass sowohl bei positiver als auch bei negativer Beschleunigung jeweils die Endgeschwindigkeit der Objektbewegung die Grösse des Lokalisationsfehlers bestimmte und nicht eine über den ganzen Bewegungsverlauf gemittelte Durchschnittsgeschwindigkeit.

**Kontrolle sensorischer Prozesse.** In den ersten beiden Studien zum Representational Momentum (Freyd & Finke, 1984, 1985) wurde jeweils nur ein einzelnes, in mehreren Stufen rotiertes Rechteck präsentiert. Die Versuchspersonen konnten dadurch die implizierte Bewegung des Objekts mit ihren Augen verfolgen. Um dies zu vermeiden, wurden in einem weiteren Experiment verschiedene Muster, bestehend aus jeweils drei Punkten präsentiert. In mehreren Schritten bewegten sich alle drei Punkte impliziert in unterschiedliche Richtungen. Auf diese Weise sollte erreicht werden, dass die Augen nicht alle drei Punkte gleichzeitig verfolgen können (Finke & Freyd, 1985). Es zeigte sich wiederum ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Dieser war allerdings unabhängig von der Geschwindigkeit der implizierten Punktbewegung.

Ein weiterer Befund dieser Studie war, dass eine Rückmeldung über die Korrektheit der gegebenen Antwort zu keiner Veränderung der Resultate führte. Der Lokalisationsfehler scheint also weder durch Training noch durch häufiges Wiederholen der gleichen Aufgabe beeinflussbar zu sein (Finke & Freyd, 1985).

**Retention-Intervall.** In einer weiteren Variation ihres ursprünglichen Experimentes wurde nicht das Interstimulus-Intervall, also die Zeit zwischen den einzelnen Ausrichtungen der Rechtecke manipuliert, sondern die Zeit zwischen der Präsentation des letzten Rechtecks und der Präsentation des Referenzrechtecks. Diese Zeitspanne wurde als *Retention-Intervall* bezeichnet (Freyd & Johnson, 1987). Das Retention-Intervall wurde systematisch in einem Bereich von 10 ms bis zuerst 90 ms, später sogar bis 1700 ms vergrössert. Der Lokalisationsfehlers

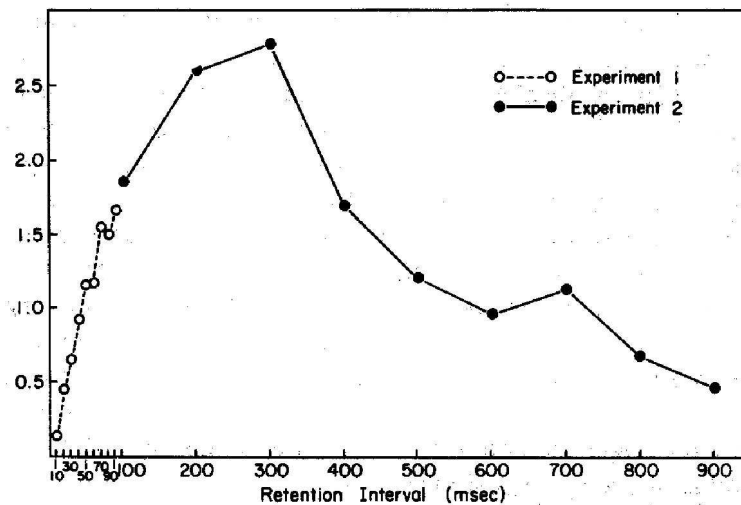


Abbildung 3: Resultate der Experimente 1 und 2 von Freyd und Johnson (1987). Der Lokalisationsfehler steigt bis zu einem Retention-Intervall von ca. 300 ms an und wird danach wieder kleiner (aus Freyd und Johnson, 1987).

wurde grösser, je länger das Retention-Intervall dauerte. Der Lokalisationsfehler stieg allerdings nur bis zu einer Zeit von ungefähr 300 ms an, danach wurde er wieder kleiner (siehe Abbildung 3).

Freyd und Johnson (1987) erklären diesen umgekehrt U-förmigen Befund anhand zweier konkurrierender Prozesse: Bei kurzen Intervallen dominiert der Effekt des Representational Momentums, der den Lokalisationsfehler grösser macht, je länger das Intervall dauert. Bei längeren Intervallen könnte es zu einem sogenannten *Memory Averaging* kommen. Diese Art von kognitiver Durchschnittsbildung könnte bewirken, dass der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung bei Intervallen über 300 ms wieder verkleinert wird, weil die drei Rechteckspositionen in der Erinnerung gemittelt werden. Dieses Memory Averaging wurde als Tendenz zur „prototypischen“ oder „zentralen“ Position des Objekts beschrieben (Freyd & Johnson, 1987).

**Kontrolle der Antizipation der nächsten Position in der Bewegungsabfolge.** Finke und Shyi (1988) testeten eine alternative Erklärung des Phänomens Representational Momentum. Der Lokalisationsfehler könnte dadurch zu Stande gekommen sein, dass die Versuchspersonen die Aufgabe falsch verstanden haben.

Anstatt die letzte Position zu erinnern, hätten sie womöglich die Position des Objekts nach einer weiteren Rotation vorhergesagt. Diese Alternativerklärung wurde mit zwei Experimenten überprüft. In Experiment 1 sollte die Anordnung von drei Referenzpunkten mit der letzten Anordnung der drei Originalpunkte verglichen werden (Wiedererkennungsaufgabe). In Experiment 2 sollte die implizierte Bewegung der drei Punkte weitergeführt werden und die nächstfolgende Anordnung der drei Punkte vorausgesagt werden (Vorhersageaufgabe). Ein Vergleich der Daten zeigt, dass in der Wiedererkennungsaufgabe der Lokalisationsfehler in Richtung der vorangegangenen implizierten Bewegung der drei Punkte lag. In der Vorhersageaufgabe zeigte sich ebenfalls ein Lokalisationsfehler. Dieser war aber entgegen der vorangegangenen Bewegung gerichtet. Damit wurde die Hypothese unterstützt, dass der Lokalisationsfehler nicht aufgrund der Vorhersage der nächsten Position einer Abfolge zu Stande kommt.

**Kontrolle der Formkonstanz.** Neben den eher quantitativen Aspekten Geschwindigkeit und Retention-Intervall, denen das Representational Momentum zu unterliegen scheint, haben Kelly und Freyd (1987) auch qualitative Aspekte des Representational Momentums untersucht. Sie untersuchten, ob sich ein Representational Momentum auch zeigt, wenn das Objekt während der Rotationsphase seine Form oder seine Grösse ändert. Ihre Daten zeigten, dass kein Representational Momentum entsteht, wenn sich während der Rotationsphase die Form des Objekts stark ändert (Kelly & Freyd, 1987, Experiment 2). Ändert sich die Form des Objekts während der Rotationsphase allerdings nur leicht, dann zeigt sich sehr wohl ein Representational Momentum (Kelly & Freyd, 1987, Experimente 3 und 4). Ebenfalls wurde ein Representational Momentum gefunden, wenn sich nur die Grösse eines Objekts veränderte. Präsentiert wurden dazu rechteckige Objekte, deren Grösse auf verschiedene Arten variiert wurde (Fläche grösser oder kleiner, Seitenlänge grösser oder kleiner, Fläche und Seitenlänge grösser oder kleiner). Das Representational Momentum zeigte sich jeweils in die Richtung, in welche sich das Objekt veränderte (Kelly & Freyd, 1987, Experimente 5, 6 und 7).

**Tonhöhen.** Das Representational Momentum wurde nicht nur bei visuellen Reizen gefunden, sondern auch bei der Präsentation von Tonhöhen. Es wurde eine Reihe von drei entweder auf- oder absteigenden Tonhöhen präsentiert, wobei die jeweils letzten Tonhöhen in beiden Bedingungen identisch waren. Der zuletzt gehörte Ton sollte mit einem danach präsentierten Referenzton verglichen werden. Bei einer ansteigenden Tonfolge wurde ein Ton, der leicht über dem zuletzt gehörten lag, häufiger mit dem letzten Originalton verwechselt als ein Ton, der leicht unter dem zuletzt gehörten lag. Bei einer abfallenden Tonfolge war es genau umgekehrt (Kelly & Freyd, 1987, Experiment 8). Ein Representational Momentum kann also auch bei kontinuierlichen Veränderungen entstehen, die nicht direkt mit visuell wahrgenommener Bewegung vergleichbar sind. Die mentale Analogie zu physikalischen Trägheit scheint beim Representational Momentum also nicht spezifisch an eine visuell wahrnehmbare Objektbewegung gekoppelt zu sein, sie bezieht sich auch auf andere Formen dynamischer Transformationen.

Die bei Tonhöhen gefundene Erinnerungsverzerrung wurde von Freyd, Kelly und DeKay (1990) weiter untersucht. Sie fanden ein Representational Momentum bei Tonhöhen sowohl bei musikalischen Laien als auch bei geübten Musikern (Freyd et al., 1990, Experiment 1). Wie bei einer Objektbewegung konnte auch bei Tonhöhen ein Effekt der Geschwindigkeit gezeigt werden. Je schneller sich die Tonhöhe veränderte, desto grösser war der Unterschied zwischen erinnelter und tatsächlicher letzter Tonhöhe (Freyd et al., 1990, Experiment 2). Die Grösse des Representational Momentums stieg allerdings nicht linear zur Geschwindigkeit an. Mit Tonhöhen konnten auch die berichteten Effekte von positiver und negativer Objektbeschleunigung und von unterschiedlich langen Retention-Intervallen repliziert werden (Freyd et al., 1990, Experimente 3 und 4).

**Naive Physik.** Weiter vorne in diesem Kapitel wurde kurz ein Phänomen der naiven Physik erwähnt. Es beschreibt das häufig beobachtete menschliche Fehlkonzent, dass ein Ball, der sich durch eine spiralförmige Röhre bewegt, sich auch nach Verlassen der Röhre auf einer mehr oder weniger

gekrümmten Bahn weiterbewegt (Daum & Frick, 2002; Kaiser, McCloskey, & Proffitt, 1986; McCloskey, Caramazza, & Green, 1980; McCloskey & Kohl, 1983). Die physikalisch korrekte Vorhersage wäre (ohne Drall) ein tangential und gerade verlaufende Bewegungstrajektorie. Auch dieses Phänomen wurde mittels einer Representational-Momentum-Aufgabe untersucht (Freyd & Jones, 1994). Präsentiert wurde ein Ball, der sich auf einer spiralförmigen Trajektorie bewegte und dann verschwand. Die Versuchspersonen sollten die letzte Position des Balls mit der Position eines Referenzballes vergleichen. Erwartet wurde ein Lokalisationsfehler in der physikalisch korrekten Bewegungsrichtung eines Balls, der aus einer gebogenen Röhre austritt, also entlang einer geraden, tangential zur letzten Röhrenkrümmung verlaufenden Trajektorie. Die Daten zeigten aber, dass der Lokalisationsfehler am häufigsten in Richtung der weitergeführten Spiralförmigkeit lag. Freyd und Jones (1994) sahen in diesem Befund einen weiteren Hinweis, dass es sich bei dem Representational Momentum nicht einfach um eine Internalisierung der physikalischen Trägheit handelt.

**Zusammenfassung.** Die Ergebnisse von Jennifer Freyd, Ronald Finke und Kollegen lassen sich folgendermassen zusammenfassen (siehe auch Freyd, 1987):

1. Das grundlegende Phänomen Representational Momentum besteht darin, dass ein sich bewegendes Objekt, nachdem es abrupt verschwunden ist, in Richtung der vorangegangenen Bewegung verschoben erinnert wird (Freyd & Finke, 1984). Präsentiert wurde ein Rechteck in drei aufeinanderfolgenden Positionen, die eine Rotationsbewegung um den Mittelpunkt des Rechtecks implizieren sollten.
2. Dieser Effekt trat nur bei kohärenter Bewegung auf. Wenn die Positionen des Rechtecks so vertauscht wurden, dass keine implizierte Rotationsbewegung zu erkennen war, trat kein Lokalisationsfehler auf (Freyd & Finke, 1984).
3. Der Effekt ist nicht durch eine einfache Schätzung der nächsten Position des Rechtecks in der Abfolge zu erklären (Freyd & Finke, 1984; Finke & Freyd,

- 1985).
4. Der Effekt scheint nicht durch sensorische Prozesse zu entstehen. Durch eine Variation des Interstimulus-Intervalls konnte gezeigt werden, dass der Lokalisationsfehler bis zu 2.0 s nach dem Verschwinden des Objekts auftritt. Der Effekt scheint also eher durch kognitive Prozesse und weniger durch beeinflusste Bewegungssensoren zu entstehen (Finke & Freyd, 1985).
  5. Der Effekt wird nicht durch Übung oder Rückmeldung über die Genauigkeit der Lokalisation beeinflusst (Finke & Freyd, 1985).
  6. Der Effekt scheint eine Verzerrung der Erinnerung der letzten Position zu sein. Auch bei der Präsentation von mehreren Referenzpositionen bleibt die Erinnerungsverzerrung erhalten (Freyd & Finke, 1985).
  7. Der Lokalisationsfehler ist grösser bei schneller als bei langsamer Objektgeschwindigkeit (Freyd & Finke, 1985).
  8. Bei beschleunigter Objektbewegung ist die Grösse des Lokalisationsfehlers abhängig von Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Verschwindens (Finke et al., 1986).
  9. Der Effekt tritt sehr schnell auf. Bereits bei sehr kurzen Retention-Intervallen von 10 bis 100 ms entsteht ein Lokalisationsfehler (Freyd & Johnson, 1987).
  10. Der Effekt wird grösser je länger das Retention-Intervall dauert, allerdings nur bis zu einer Zeit von ungefähr 300 ms. Wird das Retention-Intervall noch grösser, nimmt die Grösse des Lokalisationsfehlers wieder ab (Freyd & Johnson, 1987).
  11. Der Effekt tritt nur in Verbindung mit einem repräsentierten Objekt auf und wird nicht durch einen Referenzrahmen beeinflusst. Das Objekt muss über die Zeit als eine Identität wahrgenommen werden, kleinere Veränderungen des Objekts führen zu einer Verringerung des Lokalisationsfehlers, grössere Veränderungen lassen den Effekt verschwinden (Kelly & Freyd, 1987).



12. Der Effekt existiert nicht nur bei visuellen Stimuli, sondern auch in anderen Dimensionen, die einer kontinuierlichen Veränderung (Objektform, Tonhöhe) unterliegen (Kelly & Freyd, 1987). Dies gilt aber nicht für alle Bereiche mit kontinuierlichen Veränderungen (z.B. Helligkeit, Brehaut & Tipper, 1996).
13. Die mental repräsentierte Physik, deren Gesetze die mentalen Repräsentationen beeinflussen, entspricht nicht perfekt der realen Physik, sondern kann durch Fehlkonzepte verändert sein (Freyd & Jones, 1994).

**Mentale Analogie zur physikalischen Trägheit?** Die mentale Analogie zur physikalischen Trägheit scheint also nicht allumfassend zu sein (Finke et al., 1986). Ein bewegtes Objekt besitzt sowohl in mentaler wie in physikalischer Umwelt eine Trägheit. Die Art wie ein solches Objekt gestoppt wird, scheint in beiden Bereichen ähnlich zu sein, muss aber nicht identisch sein. Der Bremspfad der mentalen Repräsentation eines Objekts kann durchaus verschieden sein vom Bremspfad des realen Objekts. Auch kann die mentale Physik durchaus fehlerhaft sein, wie das auch beim Representational Momentum gefundene Fehlkonzept über die Bewegung einer Kugel nach Austritt aus einer spiralförmigen Röhre.

Laut Finke et al. (1986) erscheint es am sinnvollsten, das Representational Momentum durch eine mentale Analogie zur physikalischen Trägheit zu begründen, weil auch in unserer Umwelt Veränderungen kontinuierlich sind. Ein Objekt, das sich in eine Richtung bewegt, wird sich am ehesten in dieselbe Richtung weiterbewegen, auch wenn Reibung oder andere, der Bewegungsrichtung entgegengesetzte Kräfte auf das Objekt wirken. Es wäre also sinnvoll, dass physikalische Gesetzmässigkeiten, wie zum Beispiel die Trägheit, die auf ein Objekt wirkt, integriert sind in unsere mentalen Repräsentationen.

Die Integration des physikalischen Prinzips der Trägheit in unser repräsentationales System ist in den Augen von Freyd und Finke möglich, weil die physikalische Trägheit ein physikalisches Gesetz ist. Sie ist also *invariant*, und wir werden jeden Tag damit konfrontiert. Diese Sicht steht auch im Einklang mit Shepard (1984), der in ähnlicher Weise davon ausgeht, dass viele

kognitive Aktivitäten durch Internalisierungen solcher invarianter Umweltbedingungen beeinflusst und gesteuert werden, und dass Gesetze, die für die Umwelt gelten, auch in unserem mentalen System gelten (siehe auch Shepard, 1994). Shepards Gedanken können sich leicht auf das Phänomen des Representational Momentums übertragen lassen: Die physikalischen Gesetze waren über die gesamte Evolution des Menschen stabil. Die Anpassung eines Organismus an diese Gesetze kann Vorteile fürs Überleben gegenüber anderen Organismen haben, die sich weniger gut an diese Gesetze angepasst haben. Das Phänomen Representational Momentum kann also aus der Integration einer Eigenschaft unserer Umwelt in unser repräsentationales System hervorgegangen sein, um so einen evolutionären Vorteil zu schaffen.

Im Laufe der Zeit wurde die Erklärung, was das Representational Momentum genau ist und wodurch es zu Stande kommt, mehr und mehr an die gefundenen Ergebnisse angepasst. Die Interpretation von Jennifer Freyd und Kollegen, dass das Phänomen Representational Momentum eine simple Analogie zur physikalischen Trägheit ist, wurde erweitert. Dazu führte Freyd einerseits den Begriff der raum-zeitlichen Kohärenz ein: Wie das physikalische Momentum eine Eigenschaft realer Objekte ist, in einer Umwelt die einer raum-zeitlichen Kohärenz unterliegt, so ist das Representational Momentum - die mentale Trägheit - eine Eigenschaft mental repräsentierter Objekte in einer mentalen Welt mit ebenfalls raum-zeitlicher Kohärenz. Andererseits wurden auch Elemente der naiven Physik, also Fehlkonzepte über die Gesetze der physikalischen Umwelt integriert. Diese können ebenso mental repräsentiert sein und sich auf mentale Repräsentationen auswirken. Jennifer Freyd hält Effekte von Representational Momentum für alle Dimensionen möglich, die in irgendeiner Art und Weise einer kontinuierlichen Veränderung unterliegen, auch unabhängig von den Gesetzen der realen Physik (Freyd & Jones, 1994).

### 1.3.2 Untersuchungen zum Representational Momentum von Timothy Hubbard und Kollegen

Jennifer Freyd, Ronald Finke und Kollegen benutzten für ihre Untersuchungen zum Representational Momentum keine kontinuierliche sondern eine implizierte Objektbewegung. Beurteilt werden sollte, ob ein Referenzobjekt dieselbe Ausrichtung wie das zuletzt gesehen Originalobjekt hatte. Anhand der gegebenen Antworten konnten sie zeigen, dass das Referenzobjekt häufiger mit dem letzten Originalobjekt verwechselt wurde, wenn das Referenzobjekt leicht in Richtung der vorangegangenen implizierten Bewegung weiterbewegt war.

Hubbard und Bharucha (1988) führten ähnliche Experimente zum Representational Momentum durch wie Freyd und Finke. Sie präsentierten den Versuchspersonen ein kleines, kreisförmiges Objekt, welches sich auf einem Computerbildschirm entweder horizontal oder vertikal bewegte. Die Bewegung war dabei glatt und kontinuierlich. Neben der Bewegungsrichtung wurde auch die Geschwindigkeit des Objekts variiert. Nachdem das Objekt an einer zufällig bestimmten Position auf dem Bildschirm verschwunden war, benutzten die Versuchspersonen den Cursor der Computermouse, um die letzte Position des Objekts auf dem Bildschirm anzuzeigen. Die Daten der lokalisierten letzten Objektposition wurden mit der tatsächlichen letzten Objektposition verglichen. Diese Methode hatte den Vorteil, dass das Prozedere der Versuchsdurchführung vereinfacht wurde und anstatt der dichotomen Antworten intervallskalierte Daten zur Verfügung standen. Ausserdem bestand die Möglichkeit zu testen, ob zusätzlich zu der Verschiebung der erinnerten Position in Richtung der vorangegangenen Bewegung auch Verschiebungen in andere Richtungen gefunden werden konnten.

Hubbard und Bharucha (1988) analysierten einerseits die Abweichung der von der Versuchsperson lokalisierten Objektposition von der tatsächlich letzten Objektposition entlang der Bewegungsachse (*M-Displacement*, die x-Achse bei horizontaler und die y-Achse bei vertikaler Objektbewegung), andererseits aber auch die Abweichung orthogonal zur Objektbewegung (*O-Displacement*, die y-Achse bei horizontaler und die x-Achse bei vertikaler Objektbewegung). Aus den

Daten ging hervor, dass die von der Versuchsperson angegebene, letzte Objektposition in Bewegungsrichtung verschoben war. Dieser Lokalisationsfehler wurde grösser, je schneller sich das Objekt bewegte. Diese Befunde stimmten also mit denjenigen von Freyd, Finke und Kollegen überein. Zusätzlich konnten Hubbard und Bharucha (1988) zeigen, dass der Lokalisationsfehler bei horizontaler Objektbewegung grösser war als bei vertikaler, und dass er bei vertikaler Objektbewegung grösser war, wenn sich das Objekt nach unten bewegte, als wenn es sich nach oben bewegte. Die Daten des *O*-Displacements zeigten, dass ein Objekt nicht nur in Bewegungsrichtung, sondern bei horizontaler Bewegung auch in Gravitationsrichtung nach unten verschoben lokalisiert wurde. Bei vertikaler Objektbewegung zeigte sich dagegen kein systematischer Effekt nach links oder nach rechts. Dieser Befund wurde durch eine weitere Studie gestützt, in der sich Objekte auf schrägen Trajektorien bewegten. Auch hier wurde der Lokalisationsfehler grösser, je mehr sich die Bewegungstrajektorie der Horizontalen annäherte (Hubbard, 1990).

Freyd und Johnson (1987) berichteten von dem Effekt, dass der Lokalisationsfehler mit der Länge des Retention-Intervalls grösser wurde. Wenn dieses Retention-Intervall aber länger als 300 ms war, wurde der Lokalisationsfehler wieder kleiner und ging gegen Null. Dies konnten Hubbard und Bharucha (1988) nicht replizieren, die Versuchspersonen zeigten einen Lokalisationsfehler auch dann noch, wenn mehr als 2 s zwischen dem Verschwinden des Objekts und der Lokalisation lagen.

In einem weiteren Experiment zeigten Hubbard und Bharucha (1988), dass der Lokalisationsfehler auch von den Erwartungen eines Beobachters abhängt. Dazu präsentierten sie ein Objekt, das sich innerhalb eines vorgegebenen Rahmens hin- und her bewegte. Das Objekt bewegte sich zwischen ein- und fünfmal hin und her und verschwand dann gemeinsam mit dem Rahmen. Die Daten zeigten, dass der Lokalisationsfehler bei Objekten, die kurz *vor* der Kollision mit dem Rahmen verschwanden entgegen der aktuellen Bewegungsrichtung gerichtet war. Bei Objekten, die kurz *nach* der Kollision mit dem Rahmen verschwanden, war der Lokalisationsfehler in Richtung der aktuellen

Bewegung gerichtet. Es war also jeweils die Richtung der antizipierten Bewegung, und nicht der aktuellen Bewegung welche die Richtung des Lokalisationsfehler bestimmte. Die Versuchspersonen antizipierten in dieser Aufgabe, dass sich die Bewegung des Objektes nach der Kollision mit dem Rahmen änderte. Diese Antizipation der Objektbewegung zeigte sich auch im Lokalisationsfehler. Hubbard und Bharucha (1988) sahen in diesen Befund den Beweis dafür, dass Augenbewegungen als alleiniger Grund für den Lokalisationsfehler ausgeschlossen werden können. Hubbard (1995c) fügte dem hinzu, wenn auch weitere Studien zeigen würden, dass mit Augenbewegungen auch eine komplexe Bewegung antizipierbar ist, müssen diese Augenbewegungen doch immer von höheren kognitiven Prozessen geleitet sein.

**Einfluss der Gravitationskraft.** Sowohl Shepards (1984, 1994) Theorie von der Internalisierung externer Umweltgesetze, als auch Freyds (1987, 1992, 1993) Theorie der raum-zeitlichen Kohärenz halten es für möglich, dass physikalische Gesetze, die für unsere Umwelt gültig sind, auch in mentalen Repräsentationen der Umwelt Gültigkeit haben können. Laut Hubbard (1990, 1995b) könnte auch die Gravitationskraft ein solcher Faktor sein. Hinweise dafür gab es schon bei Freyd, Pantzer und Cheng (1988). Sie zeigten, dass ein statisches Objekt, welches vertikal abgestützt (z.B. eine Vase, die auf einem Tisch steht) weniger weit in vertikaler Richtung nach unten verschoben erinnert wurde, als ein Objekt, welches nicht in vertikaler Richtung unterstützt war (z.B. eine Vase ohne Tisch). Weitere Evidenz für die Wirkung der Gravitation auf unsere mentalen Repräsentationen waren die oben berichteten Befunde von Hubbard und Bharucha (1988): Die erinnerte letzte Position eines sich bewegenden Objekts war sowohl in Richtung der vorangegangenen Bewegung als auch in Richtung der Gravitation verschoben. Ausserdem war der Lokalisationsfehler bei Objekten, die sich vertikal abwärts bewegten grösser als bei Objekten, die sich vertikal aufwärts bewegten (Hubbard & Bharucha, 1988). Beide Befunde sprechen für den Einfluss der Gravitationskraft auf unsere mentalen Repräsentationen. Ein Objekt, welches über die Kante eines Tisches hinaus rollt, fällt auf einer parabelförmigen Trajektorie auf den

Boden. Objekte welche sich vertikal bewegen werden von der Gravitationskraft beschleunigt. Diese bewirkt, dass ein Objekt, welches nach unten fällt, schneller wird und ein Objekt, welches sich nach oben bewegt, immer langsamer (es sei denn es wird durch eine andere Kraft wie zum Beispiel dem Schub bei einer Rakete angetrieben). Unterstützt wurden diese Befunde auch von Daten eines weiteren Experimentes (Hubbard, 1998b), in denen sich unterschiedliche grosse Objekte vertikal nach unten oder nach oben bewegten. Der Lokalisationsfehler war bei einer Objektbewegung nach unten grösser, je grösser das Objekt war, und er war bei einer Objektbewegung nach oben kleiner, je grösser das Objekt war. Hubbard (1995c) schloss konzeptuelles Wissen über die sich bewegenden Objekte als Ursache für diese Unterschiede aus, da es sich bei den präsentierten Objekten um einfache schwarze, kreisförmige Objekte handelte.

In einer neueren Untersuchung zum Einfluss der Gravitationskraft auf das Representational Momentum wurde die Sicht aus einem Flugzeugcockpit präsentiert. Zu Beginn jedes Versuchsdurchgangs war der Horizont um  $45^\circ$  im oder entgegen dem Uhrzeigersinn rotiert präsentiert (Amorim et al., 2000). Für den Beobachter sollte der Eindruck entstehen, er sitze im Cockpit eines Flugzeuges und fliege ein Kurve. Der Horizont wurde dann gedreht, die Kurvenlage somit verändert, und verschwand. Ein anschliessend präsentierter Referenzhorizont sollte mit der letzten Position des Originalhorizontes verglichen werden. Verschwand der Horizont bevor er waagerecht war, zeigte sich ein Lokalisationsfehler entgegen der Bewegungsrichtung des Horizonts, also entgegen der Rotationsrichtung. Wenn der Horizont verschwand, nachdem er bereits horizontal war, war es umgekehrt, es zeigte sich ein Lokalisationsfehler in Rotationsrichtung des Horizonts. Amorim et al. (2000) interpretierten diesen Befund folgendermassen: Je nach Bedingung befand sich der Körper der Versuchsperson in einer implizierten Schräglage. Die Gravitation wirkte jeweils auf den schräg gestellten Körper, und es entstand ein Lokalisationsfehler jeweils in Richtung der Gravitation.

Weitere Evidenz für den Einfluss der Gravitation auf mentale Repräsentationen lieferten auch Nagai, Kazai und Yagi (2002). Sie untersuchten, ob die

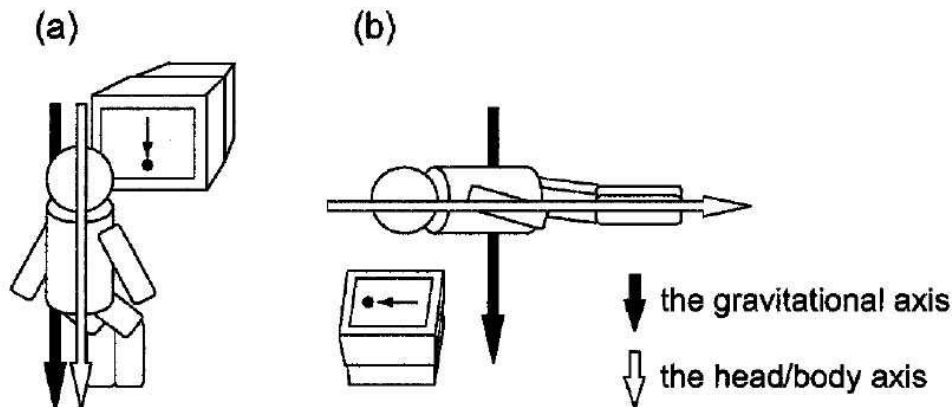


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus von Experiment 1 von Nagai, Kazai und Yagi, 2002. Das Objekt bewegte sich entlang der vertikalen Körperachse der Versuchsperson, entweder in aufrechter (a) oder in horizontaler (b) Körperposition (aus Nagai, Kazai, und Yagi, 2002).

repräsentationale Gravitationskraft entlang der natürlich gegebenen Richtung der Gravitation verläuft oder entlang der eigenen vertikalen Körperachse. In einem ersten Experiment präsentierten sie vertikal bewegte Objekte, deren letzte Position mit der Position eines Referenzobjekts verglichen werden sollte. Die Versuchspersonen saßen während dem Experiment entweder aufrecht vor einem vertikal gestelltem Bildschirm, oder sie lagen auf dem Bauch und schauten auf einen horizontal gestellten Bildschirm (siehe Abbildung 4). Der Lokalisationsfehler war bei einer abwärts gerichteten Objektbewegung grösser als bei einer aufwärts gerichteten. Dies war allerdings nur der Fall bei aufrechter Körperposition. Bei horizontaler Körperposition gab es keinen Unterschied zwischen den beiden Bewegungsrichtungen. In einem zweiten Experiment bewegte sich das Objekt entweder auf den Beobachter zu oder von ihm weg entlang der Blickrichtung. Hier war der Lokalisationsfehler grösser bei Objekten, die sich vom Beobachter weg bewegten als wenn sie sich auf den Beobachter zu bewegten. Dies war aber nur bei horizontaler Körperposition der Fall, in der sich das Objekt vertikal nach unten zu bewegen schien. Bei aufrechter Körperposition zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Bewegungsrichtungen. Der Einfluss der repräsentationalen Gravitation auf mentale Repräsentationen wirkt also entlang

der tatsächlichen Richtung der Gravitation und nicht entlang der eigenen vertikalen Körperachse (Nagai et al., 2002).

**Einfluss von Reibung.** Eine weitere physikalische Grösse, mit der wir jeden Tag konfrontiert werden, ist die Reibung. Wenn wir uns selbst oder Objekte bewegen, wirkt auch immer Reibung auf diese Bewegung. Erste Anzeichen, dass Reibung auch einen Einfluss auf mentale Repräsentationen haben könnte, lieferten Hubbard und Bharucha (1988). In ihrem letzten Experiment liessen sie ein Objekt horizontal auf eine virtuelle, stationäre Barriere zu bewegen. Das Objekt verschwand entweder kurz vor der Kollision mit der Barriere oder kurz nach der Kollision, nachdem es die Barriere quasi virtuell durchbrochen hatte. Gemessen wurde der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Dieser Lokalisationsfehler war am grössten, wenn das Objekt weit vor der Kollision verschwand. Beim Verschwinden direkt vor oder nach der virtuellen Barriere war der Lokalisationsfehler kleiner. Am kleinsten war er, wenn das Objekt nach der Kollision sich noch ein Stück weiter bewegte und erst dann verschwand.

Diese Befunde wurden von Hubbard (1995b) in weiteren Experimenten repliziert. Es zeigte sich erneut, dass der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung kleiner wurde, wenn sich das Objekt durch eine virtuelle Barriere hindurch bewegte. Bei einer dickeren Barriere war die Reduktion des Lokalisationsfehlers grösser als bei einer dünneren Barriere. Wenn sich das Objekt an der oberen oder unteren Kante einer Oberfläche entlang bewegte, führte dies ebenfalls zu einer Reduktion des Lokalisationsfehlers. Diese Reduktion war noch grösser, wenn sich das Objekt zwischen der oberen und der unteren Kante von zwei Oberflächen hindurch bewegte (siehe Abbildung 5).

Hubbard (1995b) interpretierte diese Befunde so, dass die Grösse des Lokalisationsfehlers in Bewegungsrichtung kleiner wird, je stärker die implizierte Reibung ist, die auf ein Objekt wirkt. Er schränkte die Analogie zur physikalischen Reibung allerdings ein wenig ein, weil nicht nur eine Oberfläche unterhalb, sondern auch eine Oberfläche oberhalb des sich bewegenden Objekts eine Verringerung des Lokalisationsfehlers in Bewegungsrichtung verursachte, was



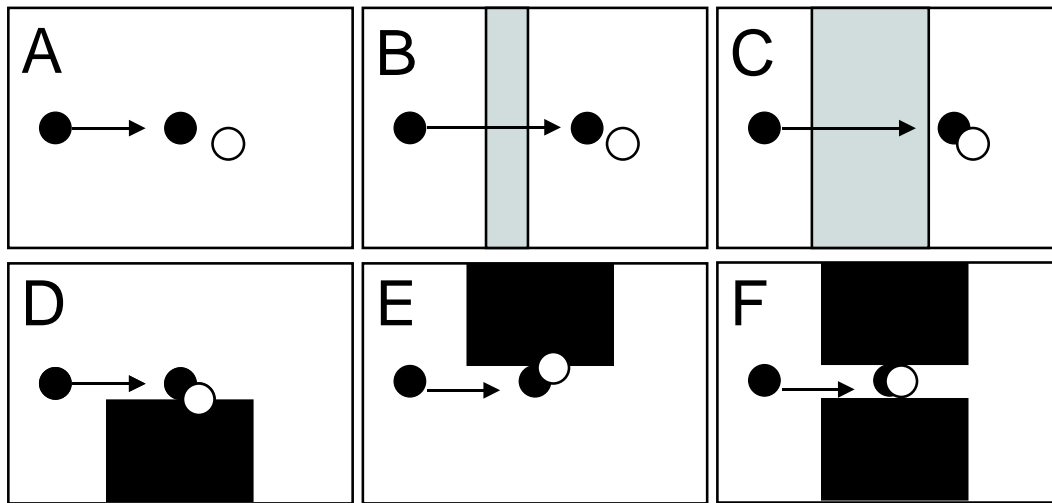


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Bedingungen von Hubbard (1995b). Die schwarzen Kreise zeigen die jeweils erste und letzte Position des sich bewegenden Objektes an. Der weisse Kreis zeigt die jeweils von den Versuchspersonen lokalisierte letzte Objektposition an: (A) Lokalisationsfehler (LF) in Bewegungsrichtung ohne äussere Einflüsse. (B) Verringerung des LF durch die Bewegung durch eine „Mauer“. (C) Weitere Verringerung des LF bei dickerer Mauer. (D) und (E) Verringerung des LF bei der Überquerung einer Reibung verursachenden Oberfläche. (F) Der LF wird noch weiter verringert, wenn sich das Objekt zwischen zwei solchen Oberflächen hindurch bewegt.

den Gesetzen der realen Physik widerspricht.

Effekte von Reibung auf das Representational Momentum konnten auch bei vertikaler Objektbewegung gefunden werden (Hubbard, 1998b). Unterschiedlich grosse Objekte bewegten sich vertikal, entweder isoliert, ohne Reibungsoberfläche, oder entlang von einer oder zwei Reibungsflächen. Der Lokalisationsfehler verringerte sich auch bei vertikaler Bewegung, je mehr implizierte Reibung auf das Objekt wirkte.

Hubbard (1995c) fasst seine Befunde zum Einfluss repräsentationaler Reibung wie folgt zusammen: Im Allgemeinen ist der Lokalisationsfehler, und damit das Representational Momentum abhängig von der Stärke der implizierten Reibung, die auf ein sich bewegendes Objekt wirkt. Dies ist sowohl bei horizontaler Objektbewegung (Hubbard, 1995b), als auch bei vertikaler Objektbewegung (Hubbard, 1998b) der Fall. Es scheint also, dass eine implizierte

Reibung die Wahrnehmung und Repräsentation einer Bewegung beeinflussen kann. Dies ist erstaunlich, da die Geschwindigkeit bei jedem Versuchsdurchgang konstant gehalten wurde und objektiv nicht durch die implizierte Reibung beeinflusst wurde. Hubbard (1995c) schreibt abschliessend zu diesem Thema: „This may be interpreted as demonstrating the strength of the internalization of the friction analogue, because observers responded to the stimuli as though friction were present when in fact friction was not present“ (S. 328).

**Der Einfluss von implizierter Masse und impliziertem Gewicht.** Das physikalische Momentum, welches auf ein Objekt wirkt, setzt sich einerseits aus der Geschwindigkeit zusammen, mit der sich das Objekt bewegt. Effekte von Objektgeschwindigkeit auf das repräsentationale Momentum konnten in mehreren Experimenten gezeigt werden (Freyd & Finke, 1985; Hubbard & Bharucha, 1988). Andererseits wird das physikalische Momentum auch durch die Masse eines Objekts bestimmt. In mehreren Experimenten wurden allerdings keine Effekte der Objektgrösse auf die Lokalisation eines Objekts gefunden (Cooper & Munger, 1993; Hubbard, 1995b). Auch bei der Präsentation statischer Objekte, die bei ungefähr gleicher Grösse unterschiedlich schwer präsentiert wurden, wurde kein systematischer Effekt des implizierten Gewichtes gefunden (Pantzer & Freyd, 1989, zitiert in Hubbard, 1995c).

Auch Hubbard (1995b) konnte keinen Effekt der Masse eines Objekts im *M*-Displacement des Lokalisationsfehlers finden. Im *O*-Displacement stellte er allerdings einen Unterschied fest: Grössere Objekte wurden weiter unten lokalisiert als kleinere. Auch bei sich vertikal bewegenden Objekten war das *M*-Displacement grösser bei grossen Objekten, die mehr Masse implizierten, als bei kleinen. Wenn sich die Objekte vertikal entlang der Kante einer Reibungsoberfläche bewegten, hatte die implizierte Reibung einen grösseren Effekt auf das *M*-Displacement bei grossen Objekten als bei kleinen (Hubbard, 1998b). Objekte mit grösserer Masse scheinen also einer stärkeren Reibung zu unterliegen, was den Gesetzen der realen Physik entspricht.

Insgesamt scheint es keinen generellen Effekt der Objektgrösse und der

damit implizierten Masse auf den Lokalisationsfehler zu geben. Die gefundenen Daten legen den Schluss nahe, dass ein solcher Effekt nur in Richtung der Gravitationskraft zu finden ist, unabhängig davon ob sich das Objekt bewegt oder nicht, und unabhängig davon, in welche Richtung es sich bewegt.

Hubbard (1995c, 1997) erklärt diese nur teilweise mit der realen Physik übereinstimmenden Befunde so, dass möglicherweise nicht die Masse, sondern das Gewicht eines Objekts einen Einfluss auf unsere mentale Repräsentation haben könnte. In unserer Umwelt sei die Masse eines Objekts stark mit dem Gewicht korreliert, es könnte also sein, dass die Versuchspersonen nicht auf die implizierte Masse eines Objekts geachtet haben, sondern auf das implizierte Gewicht. Dieses setzt sich aus der Masse und der Erdbeschleunigung zusammen (Die Masse einer Tafel Schokolade beträgt auf der Erde und auf dem Mond jeweils 100 g, das Gewicht auf der Erde beträgt damit 1 N, auf dem Mond aber nur .16 N). Die Masse beeinflusst die Trägheit eines Objekts unabhängig von der Bewegungsrichtung, das Gewicht ist aber an die Gravitationsrichtung gekoppelt. So könnte erklärt werden, warum der Einfluss der Objektgrösse sich bei Hubbard (1995b, 1998b) nur in Gravitationsrichtung auswirkte und bei Cooper und Munger (1993) oder Pantzer und Freyd (1989) gar nicht gefunden wurde.

**Der Einfluss von Kontext-Effekten.** Hubbard (1993b) zeigte, dass neben den bisher beschriebenen Faktoren auch der Kontext, der ein sich bewegendes Objekt umgibt, einen Einfluss auf die mentale Repräsentation dieses Objekts hat. In mehreren Experimenten sollte die jeweils letzte Ausrichtung eines sich rotierenden Objekts mit einem Referenzobjekt verglichen werden. Zusätzlich wurde entweder während der Rotationsphase, während der Präsentation des Referenzobjekts oder während diesen beiden Phasen der Kontext bewegt, der das Objekt umgab. Wenn sich der Kontext in die gleiche Richtung wie das Objekt bewegte, war der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung leicht grösser im Vergleich zu einer Bedingung ohne Kontextbewegung. Wenn sich der Kontext in entgegengesetzter Richtung wie das Objekt bewegte, war der Lokalisationsfehler kleiner oder sogar in entgegengesetzter Richtung im Vergleich zur Bedingung ohne Kontext-

bewegung.

Hubbard (1995a) erklärt diese Befunde damit, dass die Objekte je nach Vorhandensein des Kontexts als unterschiedliche Identitäten wahrgenommen werden könnten. Bewegt sich das Objekt ohne Kontext und erscheint dieser Kontext danach bei der Präsentation des Referenzobjekts, könnten Originalobjekt und Referenzobjekt in den Augen des Beobachters als unterschiedliche und unabhängige Reize wahrgenommen werden.

Nicht gestützt wird die Hypothese, dass ein sich bewegender Kontext die wahrgenommene Geschwindigkeit des Objekts beeinflusst. Bei einem Kontext, welcher sich entgegen der Bewegungsrichtung des Objekts bewegt, ist die relative Geschwindigkeit zum sich bewegenden Kontext höher als die tatsächliche Objektgeschwindigkeit. Bei einem Kontext, der sich in die gleiche Richtung wie das Objekt bewegt, ist die relative Geschwindigkeit des Objekts über dem Hintergrund kleiner als die tatsächliche Objektgeschwindigkeit. Wenn diese Relativgeschwindigkeit einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler haben sollte, müsste dieser bei Kontextbewegung entgegen der Richtung der Objektbewegung grösser sein als bei Kontextbewegung in Richtung der Objektbewegung. Diese Hypothese kann durch die Resultate von Hubbard (1993b) nicht gestützt werden.

**Memory Averaging.** Untersuchungen zum Representational Momentum berichten von der Möglichkeit, dass die Erinnerung der letzten Position durch sogenanntes Memory Averaging beeinflusst werden konnte (Freyd & Johnson, 1987, siehe auch Seite 15). Der Lokalisationsfehler wurde grösser, wenn sich das Retention-Intervall zwischen dem Verschwinden des Objekts und dem Erscheinen eines Referenzobjekts verlängerte. Dieser Anstieg endete aber bei einem Retention-Intervall von ungefähr 300 ms. Bei längerer Dauer des Retention-Intervalls wurde der Lokalisationsfehler wieder kleiner.

Hubbard (1995c) unterscheidet zwei Arten von Memory Averaging, eine zeitliche und eine räumliche. Beim zeitlichen Memory Averaging werde die Erinnerung der letzten Position eines Objekts beeinflusst durch frühere Positionen dieses Objekts. Die räumliche Beeinflussung geschieht durch die Anwesenheit

weiterer Objekte, währenddem das sich bewegende Objekt sichtbar ist. Die zeitliche Verzerrung der Erinnerung wird durch die Befunde von Freyd und Johnson (1987) beschrieben. Die räumliche Verzerrung wird von dem gefundenen Einfluss auf den Lokalisationsfehler orthogonal zur Bewegungsrichtung bei Reibung implizierenden Objekten gezeigt (Hubbard, 1995b).

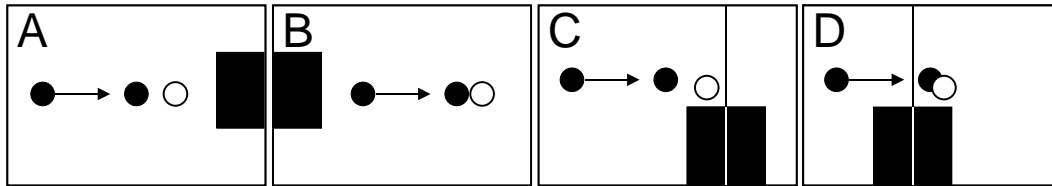


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Befunde von Hubbard und Ruppel (1999, 2000). Tatsächliche (schwarze Kreise) und lokalisierte (weisser Kreis) Position des sich bewegenden Objekts. Der Lokalisationsfehler (LF) wird grösser, wenn ein Objekt sich auf eine Landmarke zu bewegt (A), als wenn es sich von einer Landmarke weg bewegt (B). Ebenso ist der LF grösser, wenn eine Objekt das geometrische Zentrum (GZ) einer Landmarke noch nicht passiert hat (C) und kleiner wenn es schon über das GZ der Landmarke hinaus ist (D).

**Einfluss von Landmarken.** Ein weiterer Faktor, der die Lokalisation eines Objektes beeinflusst, ist die Anwesenheit eines zusätzlichen Objektes, welches auch als Landmarke bezeichnet wird. Die Distanz zwischen einem statischen Objekt und einer Landmarke wird als kürzer wahrgenommen als es die Distanz tatsächlich ist (z.B. McNamara & Diwadkar, 1997; Sadalla, Burroughs, & Staplin, 1980; Tversky & Schiano, 1989). Diese Fehllokalisierung oder Fehleinschätzung wurde als *Landmark-Attraction-Effekt* bezeichnet (Bryant & Subbiah, 1994).

Hubbard und Ruppel (1999, 2000) untersuchten den Landmark-Attraction-Effekt bei bewegten Objekten. Wenn sich ein Objekt auf eine stationäre Landmarke zu bewegte, war der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung grösser, als wenn sich das Objekt von der Landmarke weg bewegte. Wenn sich das Objekt nahe an einer Landmarke vorbei bewegte, war der Lokalisationsfehler grösser, wenn das Objekt das geometrische Zentrum der Landmarke noch nicht passiert hatte, als wenn es sich schon über dieses Zentrum hinaus bewegt hatte (siehe Abbildung 6). Neben dieser Verschiebung des Lokalisationsfehlers zu einer

Landmarke hin, wurde der Lokalisationsfehler in Richtung der Landmarke auch grösser, (1) je grösser das sich bewegende Objekt war, (2) je weiter das Objekt von der Landmarke entfernt war und (3) wenn das Objekt sich oberhalb der Landmarke bewegte (Hubbard & Ruppel, 2000). Die Masse der Landmarke und deren Grösse schienen keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler zu haben (Hubbard & Ruppel, 1999, 2000).

**Einfluss der Zentripetalkraft bei kurvilinearer Bewegung.** In den meisten Studien zum Representational Momentum wurden entweder sich rotierende oder geradlinig bewegte Objekte benutzt. Eine Ausnahme bildete eine Studie von Freyd und Jones (1994), in der ein Objekt präsentiert wurde, das sich auf einer spiralförmigen Bahn bewegte. Der Lokalisationsfehler lag dabei in Richtung der weitergeführten Spiraltrajektorie (siehe auch Kapitel 1.3.1, Seite 18). Dieser Befund könnte laut Hubbard (1995c) mit einer Art verinnerlichter Zentripetalkraft erklärt werden. Hubbard (1996) fand bei Objekten, die sich auf einer kurvenförmigen Trajektorie bewegten, ebenfalls einen Lokalisationsfehler. Die lokalisierte letzte Objektposition war in Richtung der implizierten Bewegungsrichtung und zum Zentrum der Kurventrajektorie hin verschoben. Der Lokalisationsfehler war grösser, je schneller sich das Objekt bewegte und je grösser der Radius der Bewegungstrajektorie war. Beide Befunde stehen im Einklang mit der Hypothese, dass physikalische Faktoren, die für eine kreisförmige Bewegung nötig sind, von unserem repräsentationalen System verinnerlicht wurden.

**Representational Momentum bei nicht-visuellen, dynamischen Prozessen.** Wie Kelly und Freyd (1987) sowie Freyd et al. (1990) untersuchte auch Hubbard (1993a, 1995a) nicht nur das visuelle Representational Momentum. Er befasste sich auch mit dem von ihm genannten *Auditory* Representational Momentum. In einer ersten Untersuchung wurden aufsteigende Tonfolgen präsentiert, jeweils Grundton, Quinte und Oktave einer Dur-Tonleiter. Der Oktavton wurde dabei leicht variiert, entweder war er ein wenig zu tief, ein wenig zu hoch oder richtig gestimmt. Beurteilt werden sollte, ob ein nach der

Tonfolge präsentierter Referenzton mit dem letzten Ton der Tonfolge übereinstimmte oder nicht. Wenn der dritte Ton leicht zu tief präsentiert wurde, wurde er zu hoch erinnert, wenn er zu hoch präsentiert wurde, war die Erinnerung zu tief (Hubbard, 1993a). In einer weiteren Studie wurden entweder abgestufte oder kontinuierliche Tonfolgen präsentiert, die von einem Grundton entweder auf- oder abstiegen. Zusätzlich wurde die Geschwindigkeit der Tonfolge variiert. Bei absteigenden Tonfolgen führte eine grössere „Tongeschwindigkeit“ zu einem grösseren Erinnerungsfehler in Richtung der präsentierten Tonfolge, bei aufsteigenden Tonfolgen war dies nicht der Fall. Der Erinnerungsfehler wurde auch grösser, je länger der letzte Ton einer Tonfolge präsentiert wurde; wenn dieser letzte Ton allerdings gleichlang wie alle anderen Töne präsentiert wurde, führte dies zu keinem Erinnerungsfehler (Hubbard, 1995a). Diese Befunde stärken die Hypothese, dass das Representational Momentum kognitiv beeinflussbar ist und nicht durch einen modularen Prozess zu Stande kommt. Auf diese Hypothese wird im Kapitel 1.3.4, ab Seite 50 vertieft eingegangen.

**Weitere Befunde von Hubbard und Kollegen.** In weiteren Untersuchungen beschäftigten sich Hubbard und Kollegen unter anderem mit zwei Aufgaben von Albert Michotte, welche dieser Mitte des letzten Jahrhunderts untersucht hat, dem *Launching-Effect* (Michotte, 1946/1963) und dem *Tool-Effect* (Michotte, 1951/1991).

Michottes (1946/1963) *Launching-Effect* (siehe Abbildung 7) beschreibt die Wahrnehmung von Kausalität anhand unterschiedlicher Interaktionen von Objekten. Das bekannteste Beispiel aus der Reihe seiner Stimuli ist dasjenige, in welchem ein Objekt *A* sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf ein stationäres Objekt *B* zu bewegt und mit diesem kollidiert. Wenn sich das Objekt *B* dann mit ungefähr gleicher Geschwindigkeit wie Objekt *A* weiterbewegt und die Kollision nicht allzu lange dauert, werden die beiden Ereignisse (Bewegung von *A* wird gestoppt, *B* startet Bewegung) nicht als einzelne Ereignisse wahrgenommen, sondern als kausal zusammenhängend. Diese Aufgabe wurde von Hubbard, Blessum und Ruppel (2001) sowie Hubbard und Ruppel (2002)

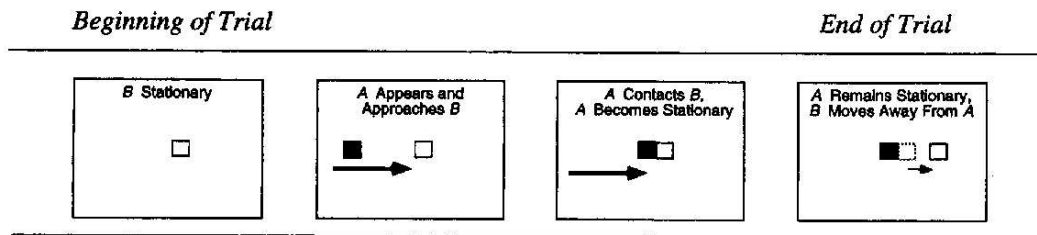


Abbildung 7: Schematische Illustration des Launching-Effects: Ein Objekt A bewegt sich auf ein Objekt B zu. Sobald B von A berührt wird, bleibt A stehen und B fängt an sich zu bewegen. Beobachter berichten oft, dass es so aussieht, als ob A die Bewegung von B verursacht (aus Hubbard, Blessum, und Ruppel, 2001).

mit einem Representational-Momentum-Paradigma untersucht. Der Lokalisationsfehler bezogen auf Objekt B wurde gemessen, nachdem es durch Objekt A angestoßen wurde. Dabei zeigte sich, dass der Lokalisationsfehler kleiner war als bei einem Objekt, welches sich ohne Anstoß mit gleicher Geschwindigkeit bewegte (Hubbard et al., 2001). Die Geschwindigkeit von Objekt A hatte einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler, diejenige von Objekt B allerdings nicht. Wenn nach der Kollision der beiden Objekte sich keines bewegte, zeigte sich kein Lokalisationsfehler. Je weiter Objekt B sich nach der Kollision bewegte, desto kleiner wurde der Lokalisationsfehler (Hubbard & Ruppel, 2002). Hubbard und Kollegen sahen in diesen Ergebnissen einen Zusammenhang mit der mittelalterlichen Impetus-Theorie, welche besagt, dass ein Objekt bei Bewegungsbeginn einen gewissen Impuls oder Impetus bekommt, welcher Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung bestimmt, und dass dieser Impuls mit der Zeit abnimmt. Ähnliche Befunde zu naiven physikalischen Theorien wurden, wie weiter oben erwähnt, sowohl in Studien zum Representational Momentum (Freyd & Jones, 1994) als auch in anderen Kontexten gefunden (Hecht & Bertamini, 2000; Kaiser et al., 1986; McCloskey et al., 1980; McCloskey & Kohl, 1983).

Michottes (1951/1991) Tool-Effect ist eine Erweiterung des oben beschriebenen Launching-Effects: Das Objekt A kollidiert nicht direkt mit dem Objekt B, sondern zuerst mit einem Objekt C welches zwischen A und B liegt. Dieses Objekt C kollidiert dann mit Objekt B (siehe Abbildung 8). Wie beim Launching-Effect



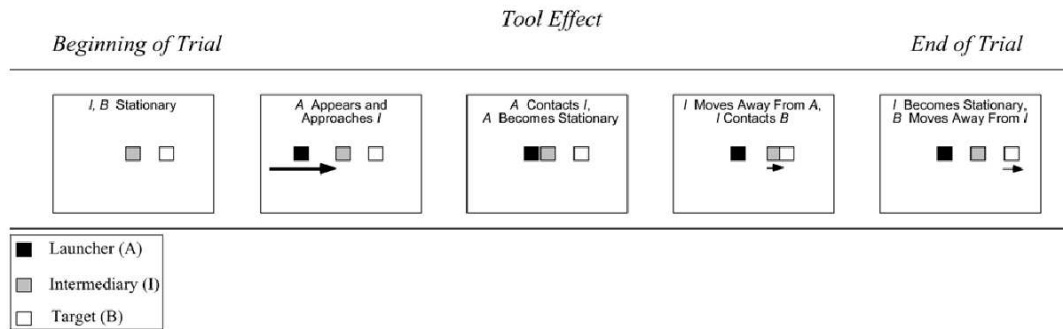


Abbildung 8: Schematische Darstellung von Michottes Tool-Effect. Ein Objekt *A* bewegt sich auf ein stationäres Objekt *I* (Intermediary) zu und berührt es. Mit der Berührung von *A* und *I* bleibt *A* stehen und *I* fängt an sich zu bewegen. *I* bewegt sich auf Objekt *B* zu und berührt dieses. Mit der Berührung von *I* und *B* bleibt *I* stehen und *B* fängt an sich zu bewegen. Beobachter berichten häufig, dass dieses Ereignis so aussieht, als ob *A* die Bewegung von *B* verursacht und *I* nur als eine Art Werkzeug (engl. *tool*) für *A* gesehen wird, *I* wird aber keine ursächliche Wirkung auf die Bewegung von *B* zugeschrieben (aus Hubbard und Favretto, 2003).

war der Lokalisationsfehler von Objekt *B* kleiner in der Tool-Effect-Bedingung, als in einer Bedingung ohne Kollision. Auch dieser Befund stützt die Hypothese der naiven Impetus-Theorie als Grund für den kleineren Lokalisationsfehler (Hubbard & Ruppel, 2002).

Neben der Fehllokalisierung der letzten Position eines sich bewegenden Objekts gibt es auch eine Fehllokalisierung der ersten Position eines sich bewegenden Objekts. Dieser Wahrnehmungsfehler wurde als *Fröhlich-Effekt* bezeichnet (z.B. Kirschfeld & Kammer, 1999; Müsseler & Aschersleben, 1998). Unter Berücksichtigung dieses Fröhlich-Effekts, stellte sich Hubbard (2002a) die Frage, ob der Lokalisationsfehler bezüglich der letzten Position eines sich bewegenden Objekts nicht eigentlich durch eine Verschiebung der gesamten Bewegungstrajektorie in Richtung der Bewegung zu Stande kommt. In zwei Experimenten konnten Hubbard und Motes (2002) zeigen, dass dem nicht so ist. Die erinnerte Bewegungstrajektorie war länger als die tatsächliche Bewegungstrajektorie.

**Zusammenfassung der Ergebnisse von Hubbard und Kollegen.**

Timothy Hubbard versuchte zusammen mit seinen Mitarbeitern in den aufgeführten Untersuchungen zu zeigen, dass die Faktoren, die einen Einfluss auf das Representational Momentum haben, über die von Jennifer Freyd und Kollegen gefundenen physikalischen Gesetze hinausgehen. Nicht nur die Geschwindigkeit und das Retention Intervall haben einen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers sondern auch weitere physikalische Faktoren wie die Gravitation, Reibung und die Zentripetalkraft. Selbst nicht-physikalische Faktoren wie die Erwartungen eines Beobachters über die zukünftige Bewegung eines Objekts können das Representational Momentum beeinflussen. Eine Erklärung für diese Befunde ist, dass die Prinzipien der physikalischen Umwelt in unser System mentaler Repräsentationen integriert sind. Dadurch wird die Position eines sich bewegenden Objekts aufgrund dieser internalisierten physikalischen Prinzipien extrapoliert. Eine solche Integration physikalischer Prinzipien könnte sowohl individuell als auch evolutionär von Vorteil sein, da sowohl Jäger als auch Beute durch das Antizipieren von physikalisch korrekten Bewegungstrajektorien einen evolutionären Vorteil haben. Den grössten Vorteil bringt eine solche Möglichkeit der Extrapolation von Bewegungstrajektorien, wenn sie automatisch abläuft und nicht bewusst gesteuert werden muss. Lokalisationsfehler und Erinnerungsverzerrungen, die durch internalisierte physikalische Gesetze beeinflusst werden, scheinen also eher durch unbewusste Prozesse zu Stande zu kommen als durch bewusst gesteuerte. Dies mag im Widerspruch zu Befunden aus Untersuchungen zur naiven Physik stehen, die gezeigt haben, dass der Mensch oft fehlerhaftes Wissen über einfache physikalische Prozesse besitzt (McCloskey et al., 1980; McCloskey & Kohl, 1983). Nach Hubbard (1998a) ist es, ähnlich wie bei Freyd und Johnson (1987) nicht die exakte Physik alleine, die unsere Repräsentationen beeinflusst, sondern eine Verbindung aus einer unbewussten Internalisierung physikalischer Gesetze mit bewussten Erwartungen über ein spezifisches Objekt, welche die mentalen Repräsentationen eines sich bewegenden Objekts steuern.

### 1.3.3 Befunde von Dirk Kerzel und Kollegen

Bisherige Hypothesen zur Entstehung des Representational Momentums gehen einerseits davon aus, dass dynamische mentale Repräsentationen ähnlichen Gesetzen unterliegen wie reale physikalische Prozesse (Freyd & Finke, 1984). Andererseits sind es nicht nur verinnerlichte physikalische Konzepte, die einen Einfluss auf unsere mentalen Repräsentationen haben. Diese können auch auf andere Art und Weise kognitiv beeinflusst werden (Hubbard & Bharucha, 1988; Reed & Vinson, 1996).

Eine weitere Möglichkeit zur Erklärung von Representational Momentum wurde von Dirk Kerzel geliefert (für eine Übersicht, siehe Kerzel, 2002c, 2002d). Kerzel stellt den bisherigen Interpretationen Befunde gegenüber, die darauf hindeuten, dass der Lokalisationsfehler nicht auf einer kognitiven Verarbeitungsstufe verursacht wird, sondern auf einer perzeptuellen. In den im Folgenden aufgeführten Untersuchungen versuchte Kerzel zu zeigen, dass nicht analoge mentale Repräsentationen die Ursache für die Fehlleistung des visuellen Kurzzeitgedächtnisses sind, sondern die Dynamik der Okulomotorik und einige Wahrnehmungstäuschungen, und dass diese in keinerlei Abbildungsverhältnis zur physikalischen Welt stünden. Nicht die mentale Repräsentation einer Objektposition, sondern die Wahrnehmung dieser Objektposition sei die Quelle des Lokalisationsfehlers. Ein Grossteil der bisher beschriebenen Effekte könnte sich auf die antizipatorische Steuerung von Wahrnehmungsprozessen zurückführen lassen, was eine Annahme von dynamischen Repräsentationen überflüssig mache (Kerzel, 2002c).

Kerzels Annahmen gehen von folgender Befundlage aus: Wenn ein sich gleichmässig bewegendes Objekt beobachtet wird, verursacht dies, sofern das Objekt dabei fixiert wird, eine glatte Augenfolgebewegung (Yasui & Young, 1975). Diese Augenbewegungen antizipieren die Bewegungstrajektorie eines Objekts (Dodge, 1931; Dodge, Travis, & Fox, 1930; Lisberger, Evinger, Johanson, & Fuchs, 1981). Eine solche glatte Augenbewegung kann nicht unverzüglich gestoppt werden, deshalb kommt es zu einem Überschiessen der Augenposition, wenn ein beobachtetes und sich bewegendes Objekt an einem zufälligen Punkt auf

einer Trajektorie verschwindet (Mitrani & Dimitrov, 1978). Die letzte Position der Augenbewegung liegt also in Richtung der vorangegangenen Augenbewegung verschoben vor der letzten Position des beobachteten Objekts. Verschwindet das Target an einer zufällig bestimmten Position einer festgelegten Bewegungstrajektorie, wird dieses Überschiessen geringer, je näher das Objekt beim Endpunkt der Trajektorie verschwindet (Mitrani, Dimitrov, Yakimoff, & Mateeff, 1979). Weiter wird ein beobachtetes Objekt nach dem Verschwinden für ungefähr 50-60 ms als noch vorhanden wahrgenommen. Der Beobachter sieht also ein kurzes Nachbild des Reizes, welches als visuelle Persistenz bezeichnet wird (engl. *visible persistence*; Kerzel, 2000, für einen Überblick, siehe auch Coltheart, 1980). In dieser Zeit werden die Augen weiterbewegt, und es entsteht der Eindruck, dass sich das Objekt weiterbewegt und mit den Augen weiter verfolgt wird. Ausserdem wird ein Objekt, was in nicht foveal, sondern peripher wahrgenommen wird verschoben zur Fovea erinnert (engl. *foveal bias*; Heijden, Geest, De Leeuw, Krikke, & Muessler, 1999; Müsseler, Van Der Heijden, Mahmud, Deubel, & Ertsey, 1999; O'Regan, 1984; Osaka, 1977). Diese Verschiebung macht ungefähr 10% der Grösse des Objekts aus (Heijden et al., 1999). Aus diesen Befunden heraus stellte (Kerzel, 2000) folgende Hypothese auf: Wenn sich ein Objekt gleichmässig bewegt, wird diese Bewegung von den Augen antizipiert. Die Position auf welche die Augen gerichtet sind, liegt also vor der aktuellen Objektposition. Wenn das Objekt verschwindet, bewegen sich die Augen noch kurze Zeit weiter, diese Bewegung wird erst verzögert gestoppt. Die letzte Position des Objekts ist also nicht auf der Fovea abgebildet, sondern leicht peripher und wird demnach zur Fovea hin verschoben erinnert. Die letzte Position eines Objekts wird somit in Richtung der vorangegangenen Bewegung wahrgenommen.

In einer Reihe von Untersuchungen überprüft Kerzel verschiedene schon früher in dieser Arbeit beschriebene Befunde im Hinblick auf die postulierte Hypothese, dass Lokalisationsfehler nicht auf Grund dynamischer mentaler Prozesse entsteht, sondern durch perzeptuelle Prozesse.

**Effekte von Augenbewegungen.** In einer ersten Untersuchung ging Kerzel (2000) der Frage nach, ob der Lokalisationsfehler auf Grund zeitlicher Eigenschaften des Prozesses - die visuelle Persistenz - zu Stande kommt, oder ob eher der räumliche Fehler, der Foveal Bias der Grund dafür ist. Der Lokalisationsfehler wuchs mit grösser werdendem Retention-Intervall zwischen dem Verschwinden eines sich bewegendes Objekts und dem Erscheinen eines Referenzobjekts an. Ab einem Intervall von 250 ms blieb der Lokalisationsfehler allerdings konstant und wurde nicht wieder kleiner wie bei Freyd und Johnson (1987). Diese Zeitspanne ist kongruent mit derjenigen, in welcher die glatte Augenfolgebewegungen geplant werden. Wenn die Augen das Objekt während seiner Bewegung nicht verfolgten, sondern fixiert waren, zeigte sich kein Lokalisationsfehler mehr. Kerzel (2000) sieht dies als Beleg dafür, dass insgesamt „die Dynamik der Augenbewegungen, insbesondere deren Überschiessen bei Verschwinden des Zielreizes und nicht die Dynamik von mentalen Repräsentationen für die Gedächtnisverschiebung in Bewegungsrichtung verantwortlich“ ist (S. 8).

In einer weiteren Studie widerlegte Kerzel (2003a) allerdings diese These: Er zeigte Beobachtern ein sich impliziert bewegendes Objekt und die Aufgabe bestand darin, die letzte Position des Objekts mit der Position eines Referenzobjekts zu vergleichen. Selbst mit fixiertem Blick zeigte sich eine Verzerrung der erinnerten letzten Position in Richtung der vorangegangenen Objektbewegung (Kerzel, 2003a). Diese Verzerrung kann in diesem Fall nicht, wie oben hergeleitet, auf Grund von Augenbewegungen während des Retention-Intervalls entstanden sein. Dieser Befund steht in Verbindung zu früheren Befunden, in denen gezeigt werden konnte, dass sich der Lokalisationsfehler je nach Art der Bewegung (implizierte Bewegung vs. glatte Bewegung) unterscheidet (Kerzel, 2000; Kerzel, Jordan, & Muesseler, 2001; Whitney & Cavanagh, 2002, 2000; Whitney et al., 2000). Es scheint also, dass bei glatter Objektbewegung und fixierter Position der Augen die Lokalisation der letzten Position unverzerrt ist, bei implizierter Bewegung und fixierter Position der Augen dagegen eine Verzerrung in Bewegungsrichtung auftritt. Dies könnte damit zusammenhängen, dass bei statischen Bildern, die eine implizierte Bewegung darstellen, kortikale

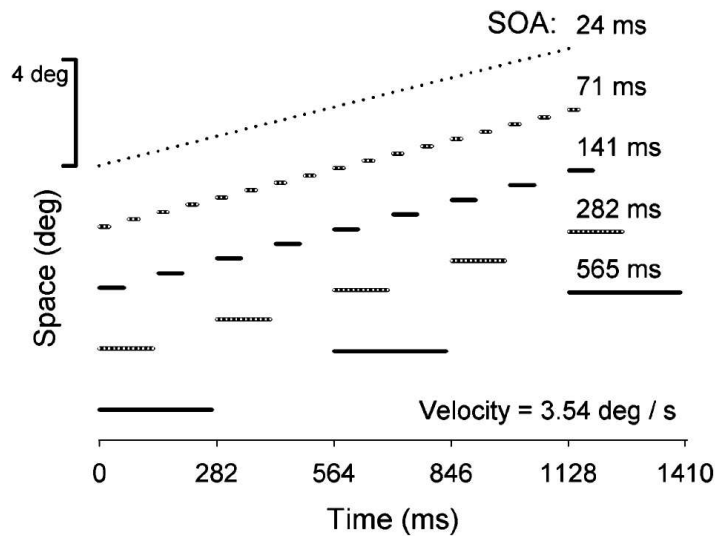


Abbildung 9: Darstellung der verschiedenen Bewegungsarten von Kerzel (2003c). Die Stimulus-Onset-Asynchrony (SOA) steht für die Zeit zwischen den einzelnen Objektpositionen einer implizierten Objektbewegung, je kleiner diese SOA ist, desto glatter bewegt sich das Objekt (aus Kerzel, 2003c).

Areale aktiv sind, die der Verarbeitung von Bewegung dienen (Kourtzi & Kanwisher, 2000; Senior et al., 2000). Dadurch können Prozesse der Verarbeitung von Bewegung stärker beansprucht werden als bei einer glatten Bewegung. Bei implizierter Bewegung muss die fehlende Bewegungsinformation kognitiv ergänzt werden (Shioiri, Cavanagh, Miyamoto, & Yaguchi, 2000). Dies ist bei glatter Objektbewegung nicht oder zumindest weniger der Fall. Dieses Ergänzen von Bewegungsinformation bei implizierter Objektbewegung könnte also auch nach dem Verschwinden des Objekts noch weiterlaufen, weil nicht sicher ist, ob die Bewegung beendet ist oder eine weitere Position der implizierten Bewegung präsentiert wird. Mit einer abrupt endenden glatten Objektbewegung endet auch der Bewegungseindruck und die visuelle Verarbeitung der Bewegung.

Der Unterschied zwischen implizierter und glatter Bewegung wurde von Kerzel (2003c) weiter untersucht. In mehreren Bedingungen wurden Objekte gezeigt, die sich in immer höher werdenden Frequenzen impliziert bewegten. Bei der höchsten präsentierten Frequenz war die Objektbewegung glatt (siehe Abbildung 9). Es zeigte sich, dass mit abnehmender Frequenz der implizierten

Bewegung, also je weniger glatt sich das Objekt bewegte, der Lokalisationsfehler grösser wurde. Kerzel (2003c) schliesst daraus, dass die Grösse des Lokalisationsfehlers durch die Extrapolation der nächsten Objektposition mitbestimmt wird. Diese ist bei niedriger Frequenz weiter von der letzten Objektposition entfernt als bei hoher Frequenz. Eine weitere mögliche Erklärung für den Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen implizierter und glatter Bewegung könnte auch wie folgt lauten: Wenn ein Objekt sich glatt bewegt und verschwindet, könnte nach dem Verschwinden des Objekts ein Bewegungsnacheffekt entgegen der vorangegangenen Bewegungsrichtung auftreten (Mayhew & Anstis, 1972). Um einen solchen Bewegungsnacheffekt zu vermeiden, benutzten Freyd und Finke (1984, 1985) keine glatte, sondern eine implizierte Objektbewegung. Möglicherweise ist der oben beschriebene Befund von Kerzel (2003c) der Beweis, dass ein Bewegungsnacheffekt einen Einfluss auf das Representational Momentum ausübt, und deswegen der Lokalisationsfehler kleiner bei glatter Objektbewegung ist als bei implizierter.

**Effekte von Erwartung.** Bewegt sich ein Objekt nicht linear von Position A nach Position B, sondern oszillierend zwischen A und B hin und her, kann dies zu einer Veränderung des Lokalisationsfehlers führen. Verschwindet das Objekt während der Bewegung zwischen den beiden Punkten, entsteht ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Wenn das Objekt aber an einem der beiden Umkehrpunkte verschwindet, ist die Grösse des Lokalisationsfehlers geringer oder sogar der Bewegung entgegen gerichtet. Die Erwartung über die Bewegung eines Objekts kann demnach die mentale Repräsentation dieser Bewegung beeinflussen (Hubbard & Bharucha, 1988). Erwartungen über eine Bewegungsbahn können unsere Wahrnehmung aber schon früher im Wahrnehmungsprozess beeinflussen. Wird ein Objekt mit den Augen verfolgt und eine Änderung der Bewegungsrichtung erwartet, wird dieser Richtungswechsel von den Augen antizipiert (Boman & Hotson, 1992; Dodge et al., 1930; Kowler, 1989). Kurz vor und während dem Richtungswechsel ist die Distanz zwischen der Position der Augen und des Objekts grösser als bei einer Position, an der kein Richtungswechsel erwartet wird.

Wenn sich also ein Objekt oszillierend bewegt, werden die Richtungsänderungen schon vom perzeptuellen System antizipiert. Dementsprechend kann das okulo-motorische Überschiessen am Ende einer solchen oszillatorischen Bewegungsbahn verkleinert oder sogar der aktuellen Objektbewegung entgegen gerichtet sein. Kerzel et al. (2001) liessen, ähnlich wie Hubbard und Bharucha (1988), ein Objekt zwischen zwei Punkten oszillieren, welches entweder an einem der beiden Endpunkte verschwand oder an einer Position zwischen diesen Endpunkten. Wie bei Hubbard und Bharucha (1988) war der Lokalisationsfehler an einer Position zwischen den beiden Endpunkten in adäquater Weise in Richtung der vorangegangenen Objektbewegung. Ebenso war der Lokalisationsfehler in der Nähe oder an den Endpunkten verkleinert oder sogar der vorangegangenen Objektbewegung entgegen gerichtet. Das Überschiessen der Augenbewegungen kann durch Erwartungen über eine zukünftige Bewegungstrajektorie beeinflusst werden. Der Lokalisationsfehler kommt also nicht alleine durch die Trägheit der Augen zu Stande, eher beeinflussen Erwartungen über das Objekt die Richtung des perzeptuellen Fokus (Kerzel et al., 2001).

Kerzel (2002c) sieht in diesem Befund eine Stärkung der Hypothese, dass nicht die Internalisierung physikalischer Prinzipien den Lokalisationsfehler verursache, sondern die Art der Augenbewegung. Die Vorstellung von dynamischen mentalen Repräsentationen verweise auf eine post-perzeptuelle, kognitive Stufe, auf welcher diese Verzerrung auftrete, es sieht aber eher so aus, dass die Dynamik der glatten Augenfolgebewegungen diese Verzerrung produziere.

Ausgehend von den Daten ihrer Befunde zu oszillatorischer Objektbewegung gehen Hubbard und Bharucha (1988) allerdings davon aus, dass die Augen zwar eine oszillierende Objektbewegung antizipieren können, das aber nur durch höhere kognitive Prozesse geschehen kann, welche die Augenbewegung steuern. Er sieht gerade in diesem Experiment den Beweis, dass Augenbewegungen als einzige Erklärung für den Lokalisationsfehler ausgeschlossen werden können.

Auf den Effekt von Augenbewegungen und dass sie alleine nicht das Representational Momentum erklären können, wird in Kapitel 1.3.7, Seite 57 noch



vertiefter eingegangen.

**Effekte von repräsentationaler Schwerkraft.** Kerzel (2002d) untersuchte auch die von Freyd et al. (1988) sowie Hubbard (1995b) gefundene Wirkung der Gravitation auf die Lokalisation von Objekten. In einer Aufgabe sollte die Mitte eines geometrischen Objekts angezeigt werden. Dabei zeigte sich, dass auch bei Objekten, die nicht verschwanden das Zentrum leicht nach unten verschoben eingezeichnet wurde, das perzeptuelle Urteil also nach unten verschoben war. Dieser Fehler stieg mit der Grösse des Objekts an. Mentale Repräsentationen beruhen auf Ergebnissen der perzeptuellen Verarbeitung. Der Lokalisationsfehler nach unten kann also sowohl durch eine verzerrte Wahrnehmung als auch durch eine verzerrte Erinnerung entstehen und dementsprechend nicht ausschliesslich auf mentale Gedächtnisprozesse zurückgeführt werden. Kerzel (2002c) führt dazu zwei verschiedene Interpretationsmöglichkeiten an: Entweder vergrössert das Gedächtnis den Wahrnehmungsfehler, oder eine mentale Analogie zur Schwerkraft fügt dem Wahrnehmungsfehler einen Gedächtnisfehler hinzu. Kerzel (2002c) erklärt dazu: „Eine Entscheidung zwischen den beiden Interpretationsmöglichkeiten ist nicht möglich, so dass die Schlussfolgerung, mentale Schwerkraft führe die Fehllokalisation nach unten herbei, nur unter Vorbehalt getroffen werden kann“ (S. 9).

**Effekte von repräsentationaler Reibung.** Hubbard (1995b, 1998b) berichtet von Befunden, dass der Lokalisationsfehler der letzten Position eines sich bewegenden Objekts kleiner war, wenn sich das Objekt über eine Reibung verursachende Oberfläche bewegt. Er führte dies auf eine mentale Analogie zur physikalischen Reibung zurück. Kerzel (2002c) sieht in dieser Interpretation jedoch einige Probleme. Wenn neben dem sich bewegenden Objekt weitere Objekte präsentiert werden, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass nicht nur das bewegte, sondern auch die anderen Objekte zumindest kurz fixiert werden. Die Vorwärtsverschiebung nimmt ab, wenn das bewegte Objekt nicht verfolgt wird, und dadurch könnte ein zusätzlich präsentiertes Objekt den Lokalisationsfehler beeinflussen. In zwei

Experimenten sollte diese Hypothese geprüft werden (Kerzel, 2002d). Im ersten Experiment wurden die Versuchspersonen instruiert, nur das bewegte Objekt zu fixieren, unabhängig davon, ob simultan ein zweites Objekt dargeboten wurde oder nicht. Dabei zeigte sich kein Unterschied im Lokalisationsfehler zu einer Bedingung, in der das bewegte Objekt alleine präsentiert wurde. Im zweiten Experiment sollten die Versuchspersonen dem bewegten Objekt nur nachschauen, wenn es alleine präsentiert wurde, sobald ein zweites Objekt auf dem Bildschirm erschien, sollten sie dieses zweite, statische Objekt fixieren. In dieser Bedingung zeigte sich eine Reduktion des Lokalisationsfehlers in Bewegungsrichtung. Es ist also nicht unbedingt die mentale Reibung, die den Lokalisationsfehler beeinflusst, sondern eher die Dynamik glatter Augenfolgebewegungen (Kerzel, 2002d).

Ähnlich können auch die Befunde von Hubbard (1995b) gedeutet werden, in denen sich ein Objekt unterhalb einer Reibung implizierenden Oberfläche bewegt. Hier war der Lokalisationsfehler einerseits kleiner in Bewegungsrichtung. Er war aber andererseits nicht wie sonst üblich in Gravitationsrichtung verschoben, sondern in Richtung dieser Oberfläche. Auch dies lässt sich alternativ mit Kerzel (2002d) erklären. Aufgrund der oben aufgeführten Befunde könnte durch eine, zumindest kurzzeitige Fixation der Oberfläche der Lokalisationsfehler in Richtung dieser Oberfläche verzerrt werden. Das würde bedeuten, dass der Lokalisationsfehler einerseits kleiner und andererseits nach oben gerichtet wäre, was mit den Ergebnissen von Hubbard (1995b) perfekt übereinstimmt.

**Repräsentationale Zentripetalkraft.** Wenn ein Objekt lokalisiert werden soll, das sich auf einer Kreisbahn bewegt und dann verschwindet, entsteht ein Representational Momentum. Dieser Lokalisationsfehler liegt in Richtung der fortgeführten, kreisförmigen Bewegungstrajektorie (Freyd & Jones, 1994; Hubbard, 1996). Die Interpretation dieses Befundes war, dass auch physikalische Fehlkonzepte internalisiert werden können. In diesem Fall wäre es das Fehlkonzept über die weitere Bewegungstrajektorie einer Kugel, welche aus einer gebogenen Röhre heraus rollt (McCloskey et al., 1980; McCloskey & Kohl, 1983). Kerzel (2003b) präsentierte hierzu ein Objekt, welches sich auf einer Kreisbahn

bewegte und verschwand. Die Versuchspersonen wurden entweder instruiert, das bewegte Objekt mit einer glatten Augenbewegung zu verfolgen, oder sie sollten das Zentrum der Kreisbahn fixieren. Wenn die Augen dem bewegten Objekt folgten, dann war die letzte Position in tangentialer Bewegungsrichtung erinnert, die Verschiebung zum Zentrum war dagegen sehr klein. Bei Fixation des Zentrums war der Lokalisationsfehler in tangentialer Bewegungsrichtung klein, die Verschiebung zum Zentrum hin war aber relativ gross. Laut Kerzel (2002c) könnten damit die Befunde von Freyd und Jones (1994) sowie Hubbard (1996) durch eine Kombination von Augenbewegungen erklärt werden: Teilweise schauten die Versuchspersonen dem bewegten Objekt nach, teilweise fixierten sie das Zentrum der Kreisbahn, auf der sich das Objekt bewegte. Kerzel (2002c): „Ein Erklärungsansatz, der sich auf kognitive Mechanismen und Repräsentationen stützt, kann den Einfluss von perzeptuellen Variablen, wie dem Ort der Fixation, sicherlich nicht sinnvoll beantworten“ (S. 11).

Andererseits ist aus den Daten von Kerzel (2003b) deutlich herauszulesen, dass bei einem Verfolgen des bewegten Objekts mit einer glatten Augenfolgebewegung der Lokalisationsfehler auch in Richtung des Zentrums der Bewegungstrajektorie gerichtet ist. Zumindest die Erwartung über die weitere Bewegung des Objekts kann also auch einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler haben. Ob diese erwartete gekrümmte Trajektorie auf Grund eines internalisierten physikalischen Fehlkonzeptes zu Stande kommt oder durch die Tendenz eine gekrümmte Bewegungsbahn weiterzuführen, kann nicht beantwortet werden. Die Erklärung Kerzels (2003b), dass einzig die unterschiedlichen Blickstrategien, unabhängig von kognitiven Einflüssen zu den Ergebnissen von Freyd und Jones (1994) sowie Hubbard (1996) geführt hätten, sollte aber in jedem Fall bezweifelt werden.

**Effekte von Vorhersagbarkeit.** In den klassischen Representational-Momentum-Aufgaben wurde jeweils ein Rechteck in mehreren Schritten rotiert, und die letzte Position des Rechtecks sollte dann mit einem Referenzrechteck verglichen werden (z.B. Freyd & Finke, 1984). Die Richtung dieser implizierten Bewegung wurde dabei nur von Versuchsperson zu Versuchsperson variiert (als

Zwischensubjektfaktor). Das heisst, eine Versuchsperson sah entweder Rechtecke, die sich nur im Uhrzeigersinn drehten oder Rechtecke, die sich nur entgegen dem Uhrzeigersinn drehten. Zusätzlich wurde die letzte Position des Objekts nicht zufällig variiert sondern war immer dieselbe. Dieses aus experimental-psychologischer Sicht eher ungewöhnliche Versuchsdesign wurde von Kerzel (2002e) überprüft. Er verwendete das Versuchsdesign von Freyd und Johnson (1987) erneut und variierte nach und nach die Faktoren nicht nur zwischen den Versuchspersonen, sondern auch pro Versuchsperson (als Innersubjektfaktor). Wenn die Rotationsrichtung des Rechtecks als Zwischensubjektfaktor variiert wurde, zeigten sich keine Unterschiede zu den Ergebnissen von Freyd und Johnson (1987): Bei kurzen Retention-Intervallen zwischen Verschwinden des Rechtecks und Erscheinen des Referenzrechtecks (bis ca. 300 ms) zeigte sich ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, der mit grösser werdenden Retention-Intervallen ( $> 300$  ms) wieder kleiner wurde. Auch eine Variation der letzten Stimulus-Position zeigte keine Veränderung des Datenmusters. Wenn aber die Rotationsrichtung als Innersubjektfaktor variiert wurde, verschwand der bisher gefundene Unterschied zwischen den unterschiedlichen Retention-Intervallen. Bei gleichbleibender letzter Position des Rechtecks war der Lokalisationsfehler in Richtung der Rotationsbewegung gerichtet, allerdings unabhängig vom Retention-Intervall. Wurde zusätzlich die letzte Position des Rechtecks zufällig variiert, zeigte sich gar kein Lokalisationsfehler mehr. Kerzel (2002e) interpretiert diese Befunde so, dass der Lokalisationsfehler bei einer implizierten Bewegung nur durch die Vorhersagbarkeit der Bewegungsrichtung eines Objekts zu Stande kommen kann. Eine solche Vorhersagbarkeit und damit verbundene Erwartung über die Art einer Bewegung kann die Augenbewegungen beeinflussen (Hubbard & Bharucha, 1988, siehe Seite 24, Kerzel et al., 2001, siehe Seite 43). Die Erwartung einer implizierten Bewegung wird durch die immer gleich ablaufende Aufgabe verstärkt. Das führt zu einer Beeinflussung der Augenbewegungen und führt zu einem Überschiessen der Augen. So kann ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung entstehen. Diese Erklärung der Befunde von Kerzel (2002e) konnte allerdings nicht aufrechterhalten werden, wie die schon beschriebenen Ergebnisse zu implizierter Bewegung

mit fixierten Augen zeigten (Kerzel, 2003a, 2003c).

**Vergleich des Memory Averaging vs. Foveal Bias.** Bisherige Befunde zeigten einerseits, dass stationäre und bewegte Objekte, die im peripheren Sehfeld präsentiert werden, zur Fovea verschoben wahrgenommen und erinnert werden (Foveal Bias; Mateeff & Gourevich, 1983; Müsseler et al., 1999; O'Regan, 1984; Heijden et al., 1999). Andererseits wird die letzte Position eines sich bewegenden Objekts in Richtung eines zusätzlich auf dem Bildschirm präsentierten Objekts verschoben erinnert (Landmark-Attraction-Effekt oder Memory Averaging; Hubbard, 1995b, 1998b; Hubbard & Ruppel, 1999). Werden dabei noch die Augen fixiert, wird der Foveal Bias reduziert (Sheth & Shimojo, 2001). Kerzel (2002b) versuchte diese Erklärungsansätze zu entflechten. Er präsentierte entweder während dem ganzen Versuchsdurchgang, oder nur während dem Retention-Intervall ein zusätzliches Objekt (Distraktor) auf dem Bildschirm. Bei fixierten Augen wurde ein Lokalisationsfehler von diesem Distraktor weg beobachtet, wenn dieser während des ganzen Versuchsdurchgangs präsentiert wurde. Kerzel (2002b) interpretiert diese Befunde so, dass wenn ein Objekt in der Peripherie des Sehfeldes präsentiert wird, das Memory Averaging bei fixierten Augen nicht auftritt. Positionsurteile sind eher von irrelevanten Distraktoren weg verzerrt, als zu ihnen hin. Die bisherigen Befunde könnten dadurch erklärt werden, dass bei nicht fixierten Augen nicht nur das sich bewegende Objekt fixiert wurde, sondern auch kurzzeitig der Distraktor.

Wird ein solcher Distraktor bei nicht fixierten Augen nur so kurz präsentiert, dass keine Sakkade ausgeführt werden kann, zeigt sich ein Effekt zu diesem Distraktor nur dann, wenn dieser entweder während dem Verschwinden des Objekts oder kurz danach präsentiert wird (Kerzel, 2002a). Dies würde die Hypothese unterstützen, dass Memory Averaging von Wahrnehmungsprozessen zum Zeitpunkt des Verschwindens des Objekts abhängig ist.

**Zusammenfassung Kerzel.** Dirk Kerzel versuchte anhand einer Reihe von Experimenten zu zeigen, dass das Representational Momentum nicht durch

die Dynamik mentaler Repräsentationen zu Stande kommt, sondern dass Blickbewegungen zumindest für einen Teil dieser perzeptuellen Fehlleistungen verantwortlich sind. Gerade die früher gefundenen Effekte von Reibung und Landmarken konnten sehr stichhaltig durch Augenbewegungen und kurzzeitige Fixationen zusätzlich präsentierter Objekte erklärt werden. Die Hypothese, dass das Representational Momentum alleine durch Blickbewegungen erklärt werden kann, konnte aber nicht aufrecht erhalten werden.

### 1.3.4 Kognitive Penetrabilität und Modularität

Die ersten Befunde zum Representational Momentum wurden von Kelly und Freyd (1987) so gedeutet, dass es sich bei den zu Grunde liegenden Prozessen des Lokalisationsfehlers um modulare Prozesse handelt, die nicht kognitiv beeinflusst werden können. Laut Fodor (1983) muss ein kognitiver Prozess zumindest teilweise die folgenden Bedingungen erfüllen, um als modular bezeichnet werden zu können: 1) *rapidity of operation*, 2) *automaticity*, 3) *domain-specificity*, 4) *informational encapsulation*, 5) *neural specificity*, 6) *mandatory operation* und 7) *innateness*. Am wichtigsten ist dabei, dass dieser kognitive Prozess nicht durch Wissen oder Erwartungen beeinflusst werden kann. Kelly und Freyd (1987) glaubten, dass das Representational Momentum zumindest einige der Kriterien für Modularität, wie *rapidity*<sup>4</sup> (Freyd & Johnson, 1987) und *mandatory operation*<sup>5</sup> (Finke & Freyd, 1985) erfülle.

Diese Form von Modularität und kognitiver Unbeeinflussbarkeit wurde von Hubbard und Bharucha (1988) und Ranney (1989) als erste angezweifelt. Wie weiter oben beschrieben, zeigten Hubbard und Bharucha (1988), dass die Richtung und die Grösse des Lokalisationsfehlers beeinflusst werden kann durch Erwartungen eines Beobachters über die zukünftige Bewegungstrajektorie eines Objekts. Ranney (1989) versucht ebenfalls zu erklären, weshalb Representational

---

<sup>4</sup>Rapidity bedeutet, dass der Prozess schnell ablaufen muss. Freyd und Johnson (1987) zeigten, dass ein Representational Momentum bereits 10 ms nach Verschwinden des Objektes auftritt.

<sup>5</sup>Mandatory operation bedeutet, dass der Prozess in keiner Form kognitiv beeinflusst werden kann. Die Rückmeldung über die Genauigkeit der Lokalisation führte beim Representational Momentum zu keiner Verbesserung der Leistung (Finke & Freyd, 1985).

Momentum nicht modular sein kann. Der Lokalisationsfehler sei im Vergleich zur realen Trägheit viel zu klein. Es könne sich also nicht um eine simple Verinnerlichung realer physikalischer Gesetze handeln. Ranney zweifelte damit nicht nur die Modularität des Representational Momentums an, sondern auch, ob das Representational Momentum überhaupt durch eine Internalisierung des physikalischen Prinzips der Trägheit zu Stande kommt. Hubbard (1995c) entgegnet Ranneys Argumenten, dass die geringe Grösse des Effekts den besten Kompromiss darstellt zwischen der einerseits genauen Extrapolation der Bewegungstrajektorie und der andererseits ungenauen Lokalisation der letzten Position. Bertamini (1993) ergänzt dies damit, dass ein kleiner Effekt in den Daten nicht zwingend durch eine schwache Repräsentation des zu Grunde liegenden physikalischen Modells erklärt werden müsse, solange die Daten ein passendes Muster aufweisen.

Verfaillie und d'Ydewalle (1991) untersuchten ebenfalls die kognitive Beeinflussbarkeit des Representational Momentums. Sie präsentierten dazu, ähnlich wie Hubbard und Bharucha (1988), Sequenzen von periodischen und nicht-periodischen Objektbewegungen. In einer Bedingung mit periodischen Bewegungen bewegte sich ein Rechteck oszillierend um seinen Mittelpunkt, die Bewegung war also gut zu antizipieren. Das Rechteck verschwand entweder in der Mitte oder am Ende einer Bewegungsperiode. In einer nicht-periodischen Bedingung drehte sich dasselbe Rechteck konsistent nur in eine Richtung. Die letzte Position des Rechtecks sollte jeweils mit einem Referenzrechteck verglichen werden. Ein Lokalisationsfehler in Richtung der vorangegangenen Bewegung wurde in der nicht-periodischen Bedingung und in der periodischen Bedingung mit Verschwinden des Rechtecks in der Mitte der Periode gefunden. Wenn das Rechteck an einem der beiden Enden der Periode verschwand, war der Lokalisationsfehler beinahe Null. Verfaillie und d'Ydewalle (1991) schlossen daraus, dass ein Beobachter sensibler gegenüber höher geordneten Bewegungsmustern (engl. *higher order event patterns*, z.B. eine oszillatorische Bewegung) sei, als bei einfacheren Bewegungsmustern (engl. *local motion characteristics*). Dies könnte dazu führen, dass die Grösse des Representational Momentums bei einer oszillierenden Bewegung am Ende einer Periode kleiner wird, da eine Umkehr der Bewegungs-

richtung erwartet werde.

Ebenfalls für eine (allerdings eingeschränkte) kognitive Beeinflussbarkeit des Representational Momentums spricht ein Befund von Hubbard (1994): Ein Objekt bewegte sich auf eine Barriere zu und prallte entweder von ihr ab (*Bounce*-Bedingung) oder bewegte sich durch die Barriere hindurch (*Crash*-Bedingung). Kurz nach Abprallen oder Durchbrechen verschwand das Objekt und die letzte Position sollte auf dem Bildschirm angegeben werden. Vor jedem Versuchsdurchgang erschien auf dem Bildschirm entweder der Begriff *bounce* oder *crash*. Die Übereinstimmung des verbalen Hinweises mit der tatsächlichen Bewegung und die Häufigkeit dieser Übereinstimmung wurden variiert. In der Bounce-Bedingung zeigte sich ein genereller Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, in der Crash-Bedingung war die erinnerte letzte Position entweder leicht in oder leicht entgegen der Bewegungsrichtung verschoben. Die Häufigkeit der Übereinstimmung hatte keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers. Bei Versuchsdurchgängen, in denen der verbale Hinweis und die tatsächliche Bewegung übereinstimmten, zeigte sich allerdings ein kleinerer Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, beziehungsweise ein grösserer Lokalisationsfehler entgegen der Bewegungsrichtung. Dieser zweite Befund gibt den Hinweis, dass das Muster des Lokalisationsfehlers zumindest teilweise kognitiv beeinflussbar ist.

Weitere Evidenz für einen kognitiven Einfluss auf mentale Repräsentationen von Bewegung lieferten Reed und Vinson (1996). Sie zeigten, dass konzeptuelles Wissen über ein Objekt die Grösse des Representational Momentums beeinflussen kann. In einer implizierten Bewegungssequenz präsentierten sie ein fünfeckiges Objekt, welches sich entweder horizontal oder vertikal bewegte. Nach dem Verschwinden des Objekts sollte die letzte Position mit der Position eines Referenzobjekts verglichen werden. Eine Gruppe von Versuchspersonen erhielt zu Beginn des Experimentes die Information, dass es sich bei dem bewegten Objekt um eine Rakete handelte (Raketenbedingung). Der anderen Versuchspersonengruppe wurde gesagt, dass es sich bei dem bewegten Objekt um einen Kirchturm handelte (Kirchturmbedingung). Bei horizontaler Objektbewegung hatte diese Information keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler. Dieser war bei verti-



kaler Objektbewegung aber grösser bei der Gruppe von Versuchspersonen in der Raketenbedingung als bei der Gruppe in der Kirchturmbedingung. Konzeptuelle Information über ein Objekt scheint also unsere Repräsentation dieses Objekts zu beeinflussen und auch die Repräsentation der Bewegung eines Objekts. In einer weiteren Untersuchung konnten Vinson und Reed (2002) zeigen, dass dieser Einfluss konzeptuellen Wissens über ein Objekt nicht durch die visuellen Eigenschaften dieses Objekts zu Stande kommt, sondern durch einen übergeordneten allgemeinen Kontext. Das heisst also, dass Wissen über ein Objekt oder eine Objektkategorie unbewusst mentale Repräsentationen dieses Objekts beeinflussen kann.

Nagai und Yagi (2001) zeigten, dass nicht nur das konzeptuelle Wissen über die Funktion eines Objekts einen Einfluss auf das Objekt haben kann, sondern auch eine von einem Beobachter implizierte Bewegungsrichtung (engl. *pointedness*). Sie präsentierten bewegte Objekte, deren Form variiert wurde. Das Objekt hatte entweder eine typische, aus dem Alltag bekannte Bewegungsrichtung (Flugzeug, Auto), eine abstrakte Bewegungsrichtung (Pfeil) oder das Objekt war pfeilförmig, bewegte sich aber typischerweise nicht (Karotte). Der Lokalisationsfehler war bei allen drei Objektkategorien grösser, wenn sich das Objekt in Richtung der alltäglichen Bewegungsrichtung, also vorwärts bewegte, als wenn es sich entgegen dieser alltäglichen Bewegungsrichtung bewegte; selbst bei der Karotte war dies der Fall. In dieser Untersuchung ist es also vor allem die *Pointedness*, welche die Repräsentation einer Objektbewegung beeinflusst. Freyd und Miller (1992) fanden ähnliche Ergebnisse bei der Präsentation eines sich in eine Richtung vorwärts bewegenden, schematischen Bildes eines Vogels, im Vergleich zu einem sich rückwärts bewegenden Vogel oder einem Kontroll-Objekt.

Fasst man die aufgeführten Untersuchungen zusammen, kann der Schluss gezogen werden, dass die Grösse und die Richtung des Lokalisationsfehlers durch ein schematisches oder konzeptuelles Wissen über ein Objekt beeinflusst werden können. Der Lokalisationsfehler hängt von dem erwarteten, zukünftigen Verhaltens des Objekts ab. Dennoch gibt es auch Bedingungen unter denen ein Lokalisationsfehler entsteht, unabhängig von den Erwartungen eines Beobachters.

Diese Folgerung steht im Einklang mit der Aussage von Finke und Freyd (1989), dass Bereiche des Representational Momentums durchaus kognitiv beeinflussbar sein können (z.B. die Extrapolation einer Bewegungstrajektorie), andere Bereiche (z.B. der fehlende Einfluss einer Rückmeldung) aber nicht.

### 1.3.5 Weitere Befunde

**Befunde zur Aufmerksamkeit.** Die Aufmerksamkeit, die ein Beobachter auf eine Representational Momentum-Aufgabe richtet, ist ein weiterer Faktor, der die Grösse des Lokalisationsfehlers beeinflussen kann. Hayes und Freyd (1995) präsentierten Beobachtern entweder ein einzelnes Objekt, dass sich bewegte und verschwand oder zwei Objekte sich aufeinander zu oder voneinander weg bewegten und gleichzeitig verschwanden. In dieser zweiten Bedingung sollten die Beobachter die letzte Position beider Objekte erinnern und mit Referenzobjekten vergleichen. Der Lokalisationsfehler war in der Bedingung mit zwei Objekten grösser als wenn nur ein Objekt sichtbar war. Je weniger Aufmerksamkeit auf ein Objekt gelenkt wird, desto grösser wird der Einfluss der implizierten Dynamik auf das Objekt und desto grösser wird dadurch der Lokalisationsfehler (siehe auch Hayes & Freyd, 2002). Wenn das zweite, sich bewegende Objekt durch eine nicht-visuelle Aufgabe ersetzt wurde, wie das Zählen der Schläge eines Metronoms, hatte dies ebenfalls einen vergrössernden Einfluss auf den Lokalisationsfehler (Hayes & Freyd, 2002).

Wird nach einer implizierten Objektbewegung während dem Retention-Intervall ein irrelevanter Distraktor präsentiert, kann das den Lokalisationsfehler beeinträchtigen oder sogar zum Verschwinden bringen (Kerzel, 2003a). Es gibt aber auch Hinweise, dass ein Distraktor den Lokalisationsfehler vergrössern kann (Munger & Owens, 2004). Dieser Distraktor muss allerdings visueller Art sein. Ein zum Zeitpunkt des Verschwindens ertönender Klang hat nur einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler, wenn die Aufmerksamkeit auch auf diesen Klang gerichtet ist (Hayes & Freyd, 2004).

**Bewegung oder kontinuierliche Veränderung.** Representational Momentum kann also auch bei anderen Dimensionen als Objektbewegung gefunden werden, zum Beispiel bei der kontinuierlichen Veränderung von Tonhöhen. Eine ganz andere Form der Veränderung untersuchten Brehaut und Tipper (1996). Sie präsentierten Objekte, die sich in ihrer Helligkeit veränderten. Dabei fanden sie keinen Representational-Momentum-Effekt, sondern eher einen Effekt entgegen der Richtung der Helligkeitsveränderung. Aus diesem Befund könnte man schliessen, dass Representational Momentum doch an eine Form der Bewegung gebunden ist. Ein sich in Tonhöhe oder Lautstärke verändernder Klang wird im Alltag beispielsweise oft bei sich nähernden oder entfernenden Verkehrsmitteln erlebt. Neueste Ergebnisse aus der Tübinger Gruppe des Max-Planck-Institutes für biologische Kybernetik unterstützen die Annahme, dass nicht jede Form von Veränderung zu einem Representational Momentum führt. Präsentiert wurden zum Beispiel Würfel, welche die Grösse änderten (Franz, Bühlhoff, Fahle, & Thornton, 2001), sich verformende Objekte (Thornton, Vuong, Knappmeyer, & Bühlhoff, 2002), Zangen die sich öffneten oder schlossen (Brouwer, Franz, & Thornton, 2003; Brouwer, Thornton, & Franz, in press) und Gesichter, die den Ausdruck veränderten (Thornton, 1997). All diese Untersuchungen ergaben keine klaren Representational-Momentum-Effekte. Bei einer Veränderung der Helligkeit zeigte sich sogar ein Effekt in die entgegengesetzte Richtung (Brehaut & Tipper, 1996). In diesen visuellen Representational-Momentum-Aufgaben, war keine klare und eindeutige Objektbewegung zu erkennen. Bei den präsentierten Objekten bewegten sich zwar einzelne Teile, das Objekt als Ganzes war jedoch statisch. Es scheint also, dass die Bewegung eines Objekts als Ganzes vorhanden sein muss, damit ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung entstehen kann.

### 1.3.6 Zusammenfassung bisheriger Befunde

Das Interesse an den Ursprüngen des Representational Momentums hat in den letzten Jahren nicht an Stärke verloren. Aus den oben genannten Ausführungen geht hervor, dass weder eine reine Analogie zur physikalischen Trägheit den

Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung vollständig erklären kann, wie Jennifer Freyd und Kollegen ursprünglich das Phänomen erklärten. Noch liegt es nur an den Bewegungen der Augen, die ein sich bewegendes Objekt verfolgen und nach dem Verschwinden überschossen, wie Dirk Kerzel das Phänomen erklärte. Es scheint vielmehr ein sehr komplexer Effekt zu sein, der nur durch eine Kombination und eine Zusammenarbeit verschiedener Systeme zu Stande kommt.

Bertamini (2002) fasst die bisherigen Ergebnisse zum Representational Momentum folgendermassen zusammen:

1. Representational Momentum kann mit einer Veränderung mentaler Repräsentationen oder als Resultat einer Veränderung der Sensitivität einer perzeptuellen Anpassung beschrieben oder erklärt werden.
2. Representational Momentum hängt von dem Muster der Bewegung eines Objekts ab (Verfaillie & d'Ydewalle, 1991).
3. Die Grösse des Representational Momentums kann durch die Präsentation unterschiedlicher Bewegungsrichtungen in zufälliger Reihenfolge im selben Experiment verringert werden (Hubbard, 1993b; Kerzel, 2002e). Die Adaptation an die Richtung eines sich bewegendes Objekts scheint also eine Rolle bei der Lokalisation dieses Objekts zu spielen.
4. Representational Momentum ist abhängig von der Konstanz der Objektform. Verändert sich diese Form während der Bewegung, entsteht kein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung (Kelly & Freyd, 1987).
5. Die Analogie der Gesetze der mentalen Physik stimmen nur bedingt mit den Gesetzen der realen Physik überein. Eher scheint es, dass eine internalisierte naive Physik die mentalen Repräsentationen beeinflusst (Freyd & Jones, 1994; Hubbard, 1998a).
6. Statische Bilder mit dynamischem Inhalt führen ebenfalls zu einem Lokalisationsfehler, aber nur, wenn der Beobachter über eine Vorerfahrung über die wahrgenommene Bewegung verfügt. Sieht man zum Beispiel das Bild

einer Person, die von einer Mauer springt, wird diese Person zu weit unten erinnert. Dies geschieht auf Grund der Vorerfahrung, dass ein Objekt, wenn es nicht von unten gestützt ist, nach unten fällt (Freyd, 1983b).

Die theoretischen Erklärungen von Freyd (1992) und Hubbard (1999) zielen auf einen zu Grunde liegenden Sinn dieses Effektes ab; es soll das „Warum?“ erklärt werden. Die perzeptuelle Erklärung von Kerzel (2000, 2002d) und auch von Raymond und Isaak (1998) stellt das Representational Momentum in Zusammenhang mit anderen Fehlleistungen des visuellen Kurzzeitgedächtnisses wie dem Fröhlich-Effekt und dem Flash-Lag-Effekt. Insgesamt wird es sich beim Representational Momentum wie bei vielen Verzerrungen der Erinnerung und Lokalisationsfehlern sehr wahrscheinlich nicht um eine einfache Kuriosität handeln und auch nicht um eine physiologische Einschränkung. Vielmehr handelt es sich dabei um eine grundlegende Struktur des visuellen Systems (Bertamini, 2002).

### 1.3.7 Methodik und neueste Befunde

In den erwähnten Untersuchungen zum Representational Momentum wurden jeweils zwei Methoden verwendet: Entweder sollte beurteilt werden, ob die letzte Position eines Objekts mit der Position eines Referenzobjekts übereinstimmt oder nicht (Freyd & Finke, 1984), oder die letzte Position eines sich bewegenden Objekts sollte mit dem Cursor der Computermouse angezeigt werden (Hubbard & Bharucha, 1988). Die Bewegung des Objekts war dabei glatt (Hubbard & Bharucha, 1988; Kerzel, 2000, 2002c, 2002d) oder impliziert (Finke & Freyd, 1985; Finke et al., 1986; Freyd & Finke, 1984, 1985). Bei einem systematischen Vergleich, in der die Bewegung in unterschiedlichen Bedingungen stufenweise von impliziert bis glatt variiert wurde, zeigte sich der grösste Representational-Momentum-Effekt bei einem schwachen Bewegungseindruck, also bei implizierter Bewegung (Kerzel, 2003c).

Beide Methoden haben ihre Vor- aber auch ihre Nachteile. Die Beurteilung der Position eines Referenzobjekts nach „gleich“ und „unterschiedlich“ ist für Erwachsene eine sehr einfache Aufgabe. Sie kann sehr schnell ausgeführt werden und wird nicht durch motorische Handlungen der Versuchsperson gestört. Gerade

aber bei der Durchführung der Aufgabe mit Kindern, wie in dieser Arbeit, besteht die Gefahr, dass die teilnehmenden Kinder die Aufgabe nicht richtig verstehen, beziehungsweise ein anderes Verständnis davon haben was „gleich“ und was „unterschiedlich“ bedeutet.

In zahlreichen Untersuchungen (Daum & Huber, 2001; Frick, Huber, Reips, & Krist, 2001; Huber, Krist, & Wilkening, 2003; Krist, Fieberg, & Wilkening, 1993; Krist, Loskill, & Schwarz, 1996; Schwartz & Black, 1999; Wilkening, 1980, 1981; Wilkening & Martin, 2004), welche verschiedene Aufgabentypen miteinander kontrastierten, wurden erhebliche intraindividuelle Performanzunterschiede gefunden. Diese Dissoziationen stützen die Vermutung, dass es nicht ein übergreifendes Wissen gibt, sondern dass domänen- und aufgabenspezifische Wissensformen das menschliche Denken und Handeln bestimmen und sich diese erst mit dem Alter entwickeln (Anderson & Wilkening, 1991). Die Kompetenz von Kindern in einem bestimmten Wissensbereich kann sich von ihrer Performanz in diesem Wissensbereich durchaus in Abhängigkeit der gestellten Aufgabe unterscheiden. Es macht also Sinn, Kindern möglichst einfache Aufgaben zu stellen, in denen Performanz und Kompetenz möglichst nahe beieinander liegen.

In den bisherigen Untersuchungen zum Representational Momentum, in denen die Position eines Referenzobjektes mit der letzten Position eines Originalobjekts verglichen werden musste, unterschied sich das Referenzobjekt, wenn überhaupt, nur durch seine Position vom Originalobjekt. Wird ein Kind nun gefragt, ob dieses Referenzobjekt sich an derselben Position befindet an der das Originalobjekt verschwunden ist, könnte das Missverständnis auftreten, dass das Referenzobjekt zwar an anderer Stelle erscheint, aber „gleich“ aussieht und womöglich fälschlicherweise das Urteil „gleich“ abgegeben wird. Und das, obwohl erkannt wird, dass das Referenzobjekt eigentlich an einer leicht unterschiedlichen Position erschienen ist! Das Referenzobjekt könnte sich farblich vom Originalobjekt unterscheiden. Dies könnte aber dazu führen, dass genau das Umgekehrte des gerade beschriebenen Missverständnisses auftreten könnte: Das Originalobjekt verschwindet und ein anders gefärbtes Referenzobjekt erscheint an derselben Stelle. Das Kind erkennt aber in erster Linie, dass sich die beiden

Objekte farblich unterscheiden, was zum möglicherweise falschen Urteil „unterschiedlich“ führen kann.

Auch im Falle der Lokalisation der letzten Position eines Objekts mit dem Cursor der Computermouse kann bei der Durchführung der Aufgabe mit Kindern zu Schwierigkeiten führen. Auch wenn heute fast jedes Kind zu Hause oder in der Schule Zugang zu einem Computer hat, kann es trotzdem erhebliche interindividuelle Unterschiede in der Bedienung der Computermouse geben. Die Kompetenz im Benutzen einer Computermouse war bereits Gegenstand unterschiedlicher Untersuchungen (Joiner, Messer, Light, & Littleton, 1998; King & Alloway, 1992; Strommen, Revelle, Medoff, & Razavi, 1996). Dabei zeigte sich, dass die Auge-Hand-Koordination im Zusammenhang mit der Benutzung einer Mouse durch Training besser wurde und auch ein Transfer auf andere Bereiche stattfand (Naido & Salkind, 1990). Es soll aber nicht das Ziel der vorliegenden Untersuchung sein, die Auge-Hand-Koordination von Kindern zu verbessern, sondern ihre bereits vorhandenen Fähigkeiten zu untersuchen. Ein weiteres Problem im Benutzen einer Computermouse ist das Erscheinen des Cursors auf dem Bildschirm. Dieser muss nach Verschwinden des bewegten Objekts auf dem Bildschirm erscheinen, um die Aufgabe überhaupt lösbar zu machen. Ein weiteres Objekt neben dem bewegten Objekt wirkt immer als Landmarke (Hubbard & Ruppel, 1999), zieht die Augenbewegungen (Kerzel, 2002d) und auch die Aufmerksamkeit auf sich (Müsseler & Aschersleben, 1998). Nach dem Verschwinden des Objekts bewegen sich die Augen zur Position des Cursors. Die letzte Position des Objekts ist nun in der Peripherie der Retina und wird zur Fovea verschoben erinnert (Müsseler et al., 1999). Beim Bewegen des Cursors zu der letzten Position des Objekts kann also schon dadurch diese letzte Position in Richtung der ersten Cursorposition verschoben sein (siehe auch Heijden et al., 1999).

Um die geschilderten Probleme zu umgehen, wurde in der vorliegenden Studie ein Touchscreen-Paradigma gewählt. Die letzte Position eines sich bewegendes Objekts sollte direkt auf einem berührungsempfindlichen Bildschirm (engl. *Touchscreen*) angezeigt werden. Die Leistung von Kindern ist in einer Touchscreen-Aufgabe besser als in einer Computermouse-Aufgabe (Scaife & Bond,

1991). Die Lokalisation eines Objekts oder einer Position am Bildschirm kann weniger missverstanden werden. Und eine Zeigebewegung läuft im einem Alter von sieben Jahren zwar noch nicht so genau wie bei Erwachsenen ab (Hay, 1978, 1979; Pellizzer & Hauert, 1996). Die motorische Ausführung der Bewegung ist aber schon ähnlich wie bei Erwachsenen.

Das Touchscreen-Paradigma wurde bisher nur in drei veröffentlichten Studien zum Representational Momentum mit erwachsenen Versuchspersonen angewandt. Kerzel (2003c) zeigte, dass der Lokalisationsfehler beim Durchführen der Aufgabe am Touchscreen (Pointing-Aufgabe) grösser ist als beim Vergleichen der letzten Objektposition mit einem Referenzreiz und dem Anzeigen der letzten Objektposition mit dem Cursor der Computermouse. Ashida (2004) sowie Kerzel und Gegenfurtner (2003) verglichen das Touchscreen-Paradigma mit der bisher oft angewandten Urteilsaufgabe. Es zeigte sich ein grösserer und robusterer Lokalisationsfehler in der Pointing-Aufgabe als beim Vergleich eines Referenzreizes. Und erstaunlicherweise wurde der Lokalisationsfehler in der Pointing-Aufgabe sogar dann gefunden, wenn die Augen nicht dem Objekt folgten, sondern einen Punkt auf dem Bildschirm fixierten (Ashida, 2004; Kerzel & Gegenfurtner, 2003).

Kerzel und Gegenfurtner (2003) erklären diesen Befund damit, dass unser sensomotorisches System neuronale Verzögerungen (Zeit zwischen der Wahrnehmung und der Verarbeitung einer Information) kompensieren und dadurch exakte Zielbewegungen (engl. *goal-directed movements*) ermöglichen.

Ashida (2004) sieht darin weitere Evidenz für die Idee einer separaten visuellen Verarbeitung von Wahrnehmung und Handlung. Aus früheren Studien ging hervor, dass die visuelle Information zur Handlungskontrolle eher im dorsalen Pfad (engl. *pathway*) und die visuelle Information zur Wahrnehmung im ventralen Pfad des visuellen Systems verarbeitet werden (Bridgeman, Kirch, & Sperling, 1981; Milner, 1999; Milner & Goodale, 1995). Die beiden Systeme wurden von Milner und Goodale (1995) entsprechend ihrer Funktion auch das *how*- und das *where*-System genannt. Zum Beispiel konnte ein Patient mit visueller Form-Agnosie ein flaches Objekt in einen Schlitz stecken, ohne aber sagen zu



können, wie das Objekt genau ausgerichtet ist. Weitere Befunde zeigten, dass Pointing-Bewegungen während Sakkaden sehr genau waren, während Wahrnehmungsurteile in Richtung des Zieles der Sakkade verzerrt waren (Burr, Morrone, & Ross, 2001). Auch scheint der *Roelofs*-Effekt<sup>6</sup> bei der Durchführung einer Wahrnehmungsaufgabe zu bestehen, nicht aber wenn sensomotorische Antworten gegeben werden (Bridgeman, Peery, & Anand, 1997; siehe aber auch Dassonville, Bridgeman, Bala, Thiem, & Sampanes, 2004). Wenn in einer Handlungsaufgabe zum Representational Momentum ein grösserer und robusterer Lokalisationsfehler entsteht, könnte das auf eine Verarbeitung und Antizipation einer Objektbewegung im visuomotorischen, dorsalen Pfad hinweisen.

Möglicherweise ist dies auch eine alternative Erklärung der Befunde von Kerzel (2000, 2002d), der im Überschiessen der Augenbewegungen die alleinige Ursache für die Entstehung des Lokalisationsfehlers sah. Es könnte auch sein, dass visuomotorische Signale die Augenbewegungen kontrollieren und damit unsere Wahrnehmung beeinflussen (Ashida, 2004).

Fasst man die Resultate zusammen, scheint es tatsächlich separate Repräsentationen von sich bewegenden Objekten zu geben. Die verzerrte Lokalisation der letzten Position eines bewegten Objekts könnte also im dorsalen Pfad geschehen und sich direkt im visuomotorischen Verhalten zeigen. Die Anwendung einer Handlungsaufgabe zum Messen von Representational Momentum erscheint also sehr nahe liegend, da hier, obwohl es sich um einen Lokalisationsfehler handelt, das Verhalten eines Beobachters am genauesten erfasst werden kann.

### 1.3.8 Ziel und Aufbau der vorliegenden Arbeit

Die vorliegende Arbeit hatte zwei Ziele. In einer ersten Serie von Experimenten sollte die Entwicklung dynamischer Repräsentationen untersucht werden. Es wurde der Frage nachgegangen, wie und ob sich das Representational Momentum im Laufe der Entwicklung verändert und ob die Resultate sich bei der

---

<sup>6</sup>Der Roelofs-Effekt (Roelofs, 1935) beschreibt eine Wahrnehmungsverzerrung. Wird ein rechteckiger Rahmen einem Beobachter so präsentiert, dass eine seitliche Kante zentral vor dem Beobachter liegt, wird diese Kante in Richtung der gegenüberliegenden Kante verschoben wahrgenommen.

Durchführung einer Handlungsaufgabe in irgendeiner Form von den bisherigen Befunden unterscheidet. In dieser Handlungsaufgabe zeigten Kinder unterschiedlicher Altersstufen und Erwachsene die letzte Position eines sich bewegenden Objekts auf einem Touchscreen an. Im zweiten Teil der Arbeit wurde der Einfluss konzeptuellen Wissens über die Intention eines sich bewegenden Objekts auf unsere mentalen Repräsentationen von diesem Objekt untersucht. Es wurden ebenfalls Representational-Momentum-Aufgaben gestellt. Zur Lokalisation wurde wie im ersten Teil das Touchscreen-Paradigma benutzt.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit liegt nicht darin, eine endgültige und umfassende Erklärung für die Entstehung und die Ursachen des Representational Momentums zu geben. Die beiden im Folgenden beschriebenen Experimente sollen einen Beitrag zur Lösung des Rätsels leisten.

## 2 Entwicklungspsychologischer Teil

### 2.1 Einführung

Kinder besitzen laut Kosslyn, Margolis, Barret und Goldknopf (1990) die Fähigkeit zur visuellen Vorstellung (engl. *visual mental imagery*) mindestens schon ab einem Alter von 5 Jahren. Kosslyn et al. (1990) testeten grundlegende Aspekte wie das Generieren, die Erhaltung, das Scannen und das Rotieren eines Bildes in der Vorstellung (engl. *image generation, maintenance, scanning* und *rotation*). Diese vier Komponenten wurden in allen Altersgruppen gefunden. Jüngere Kinder zeigten zwar etwas weniger gute Leistungen beim Generieren, dem Scannen und dem Rotieren, waren aber relativ gut beim Erhalten eines Bildes in der Vorstellung.

Zur Repräsentation dynamischer Inhalte gibt es bislang wenig Forschung. Futterweit und Beilin (1994) zeigten, ähnlich wie Freyd (1983b), Kindern und Erwachsenen Bilder mit dynamischem Inhalt, zum Beispiel eine gehende Person. Wie die Erwachsenen verwechselten auch die Kinder das zweite Bild öfter mit dem ersten, wenn es zeitlich nach dem ersten aufgenommen wurde, als wenn es zeitlich vor dem ersten aufgenommen wurde. Dies steht im Gegensatz zu Befunden von Kaiser und Proffitt (1984), die Kindern und Erwachsenen zwei kollidierende Bälle präsentierten, wobei die Kollision teilweise nicht physikalisch korrekt dargestellt wurde. Wenn die Bälle sich tatsächlich bewegten, hatten Kinder aller Altersstufen und Erwachsene keine Probleme, physikalisch korrekte von physikalisch nicht korrekten Kollisionen zu unterscheiden. Wenn aber Bilder der Kollision nur statisch gezeigt wurden, konnten dies nur noch die älteren Kinder und die Erwachsenen. Kaiser und Proffitt (1984) schlossen daraus, dass jüngere Kinder noch nicht in der Lage sind, die dynamische Information in einem statischen Bild zu erkennen.

Hubbard, Matzenbacher und Davis (1999) benutzten eine Representational-Momentum-Aufgabe, um dynamische Repräsentationen bei Kindern zu untersuchen. Sie präsentierten Objekte, die sich in vier Richtungen mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegten und liessen die letzte Position des

Objekts mit dem Cursor der Computermaus anzeigen. Kinder und Erwachsene zeigten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Dieser wurde mit steigendem Alter kleiner. Hubbard et al. (1999) schlossen daraus, dass Kinder bei Situationen mit bewegten Objekten sensitiver für dynamische Informationen sind als bei Situationen mit statischen Objekten. Sie erklärten das damit, dass Repräsentationen bei Kindern eher eine analoge Form haben, während sie bei Erwachsenen eher abstrakt oder propositional sind.

## **2.2 Experiment 1.1 - Representational Momentum in der Entwicklung**

Das Ziel von Experiment 1.1 war es, die Daten von Hubbard et al. (1999) mit dem einfacheren Touchscreen-Paradigma zu replizieren. Weiter sollte getestet werden, ob der von Hubbard und Bharucha (1988) gefundene Einfluss der Gravitation bei sich vertikal und horizontal bewegendem Objekten ebenfalls mit dem Touchscreen-Paradigma repliziert werden kann und ob die Lage, welche die Versuchsperson bei der Durchführung der Aufgabe einnimmt, wie bei Nagai et al. (2002) einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler hat.

### **2.2.1 Methode**

**Versuchspersonen.** Es haben insgesamt 48 Versuchspersonen an Experiment 1.1 teilgenommen: 16 Erwachsene (8 Frauen, 8 Männer, Durchschnittsalter: 25 Jahre, 2 Monate (25;2), Bereich: 19;5 bis 35;1), 16 Kinder der vierten Klasse (7 Mädchen, 9 Jungen, Durchschnittsalter: 10;7, Bereich: 8;0 bis 12;4) und 16 Kinder der ersten Klasse (9 Mädchen und 7 Jungen, Durchschnittsalter: 7;6, Bereich: 6;10 bis 8;3). Die Erwachsenen waren Studierende der Universität Zürich. Die Kinder waren Schülerinnen und Schüler einer ersten und einer vierten Schulklasse in der Stadt Zürich. Alle Versuchspersonen berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Die Angaben zum Versuchsaufbau gelten für alle Experimente, die im Folgenden berichtet werden. Abweichungen werden in den einzelnen Experimenten beschrieben.

Das Experiment wurde an einer Dell Precision 410 MT Workstation (Arbeitsspeicher: 256 MB, Prozessor: Intel Pentium II mit 350 MHz, Graphikkarte: Intergraph Intense 3D Pro 3410-GT) oder einem Dell Optiplex GX270 Personal Computer (Arbeitsspeicher: 512 MB, Prozessor: Intel Pentium 4 mit 2.26 GHz, Graphikkarte: NVIDIA GeForce4 MX440 with AGP8X) durchgeführt. Die Stimuli wurden mittels der OpenGL-Library erstellt und an einem berührungsempfindlichen 17 Zoll LCD-Bildschirm der Firma Elo Touchsystems (Fremont, California, USA) mit AccuTouch-Technologie bei einer Wiederholfrequenz von 60 Hz präsentiert. Der sichtbare Bereich des Bildschirms war 33.5 cm breit, 27.0 cm hoch und 43.0 cm in der Diagonalen. Die visuelle und die haptische Bildschirmauflösung waren mit 768 Pixeln in der Höhe und 1024 Pixeln in der Breite identisch. 1 Pixel entspricht dementsprechend ca. 0.33 mm in der Breite und ca. 0.35 mm in der Höhe. Ein kreisförmiges Objekt (im Folgenden Target genannt) bewegte sich in vier Richtungen über den Bildschirm: horizontal von links nach rechts und von rechts nach links, vertikal von oben nach unten und von unten nach oben. Der Bildschirmhintergrund war schwarz. Das Target bestand aus einem hellblauen Kreis (Durchmesser: 4.5 mm, RGB-Wert: Rot: 10, Blau: 200, Grün: 210) mit einem roten Punkt in der Mitte (Durchmesser: 1.3 mm, RGB-Wert: 255, 0, 0). Dieses Target erschien jeweils in der Mitte des am nächsten liegenden Bildschirmrandes. Bei horizontaler Targetbewegung war es 3.6 cm vom seitlichen Bildschirmrand entfernt (Distanz Mittelpunkt Target - Bildschirmrand), bei vertikaler Targetbewegung 3.0 cm. Zu Beginn jedes Versuchsdurchgangs war das Target während einer Zeit von 0.5 s schon sichtbar, bewegte sich aber noch nicht. Nach diesen 0.5 s startete das Target und bewegte sich mit einer konstanten Geschwindigkeit (4.0 cm/s, 8.0 cm/s oder 12.0 cm/s) in Richtung des Bildschirmzentrums. Dort verschwand das Target an einer von drei unterschiedlichen Positionen (Verschwindepunkte: Bildschirmzentrum, 1.3 cm vom Bildschirmzentrum in Bewegungsrichtung entfernt und 1.3 cm vom Bildschirm-

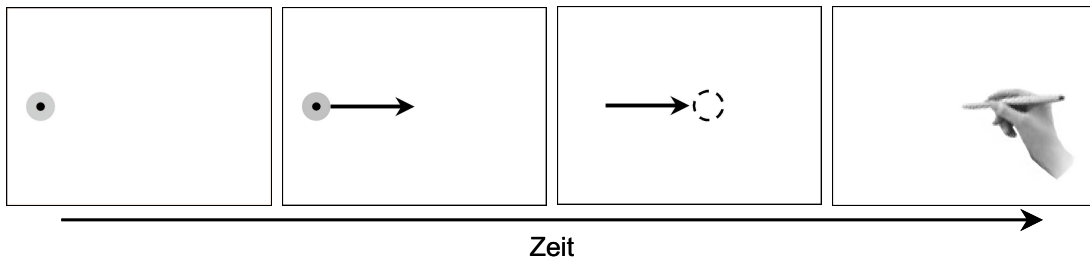


Abbildung 10: Schematische Illustration des Versuchsaufbaus der Experimentaldurchgänge von Experiment 1.1: Das kreisförmige Target startete nach 0.5 s, bewegte sich horizontal (oder vertikal) und verschwand. Die letzte Position des Targets sollte mit der Spitze eines Plastikstiftes direkt auf dem Bildschirm angezeigt werden

zentrum entgegen der Bewegungsrichtung entfernt). Die Versuchspersonen saßen zentral vor dem Bildschirm. Die Entfernung zwischen Bildschirm und Augen betrug ca. 50 cm. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, die letzte Position des Targets direkt auf dem Bildschirm zu lokalisieren. Sie benutzten dazu mit der rechten Hand einen speziell präparierten Schreibstift, dessen Schreibmine durch einen Plastikstift ersetzt war (siehe Abbildung 10).

**Prozedur.** Die erwachsenen Versuchspersonen führten das Experiment in einem leicht abgedunkelten Versuchsraum des Psychologischen Instituts der Universität Zürich durch. Die Kinder führten das Experiment in einem ebenfalls leicht abgedunkelten Zimmer ihres Schulhauses durch. Die Versuchspersonen saßen auf einem Stuhl vor dem Monitor. Sie konnten Kopf und Arme frei bewegen, eine Kopfstütze wurde nicht verwendet, da Vorexperimente gezeigt haben, dass es keinen Einfluss auf die Daten hat, ob der Kopf fixiert ist oder nicht (Daum, 2004). Vor Beginn der Experimentaldurchgänge wurde den Versuchspersonen eine Serie von Einführungsdurchgängen präsentiert. Als erstes wurden zehn statische Versuchsdurchgänge präsentiert: Das Target erschien auf dem Bildschirm, bewegte sich nicht und verschwand nicht. Die Aufgabe bestand darin, mit der Spitze des Plastikstiftes das rote Zentrum des Targets zu markieren. Es folgten zehn weitere statische Einführungsdurchgänge: Das Target bewegte sich wiederum nicht, verschwand aber nach einer Präsentationszeit von 1.0 s.



Abbildung 11: Versuchsanordnungen von Experiment 1.1: Aufrecht sitzen (links, durchgeführt von allen Altersgruppen), horizontal liegend (rechts, nur von den Erwachsenen durchgeführt)

Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, nach dem Verschwinden des Targets die Position anzuzeigen, an der sie das Target gesehen hatten. Auf diese 20 statischen Einführungsdurchgänge folgten zehn bewegte, zufällig aus den Experimentaldurchgängen ausgewählte Probedurchgänge. Die anschließenden 72 Experimentaldurchgänge setzten sich aus den vier Bewegungsrichtungen, den drei Targetgeschwindigkeiten und den drei Verschwindepunkten zusammen. Jede dieser Bedingungen wurde jeweils zwei mal präsentiert. Die Experimentaldurchgänge wurden in zwei aufeinanderfolgenden Blöcken à 36 Durchgängen präsentiert. Die Reihenfolge in diesen beiden Experimentalblöcken war jeweils nach dem Zufallsprinzip variiert.

Die Erwachsenen führten die Aufgabe zusätzlich auf dem Bauch liegend, mit horizontal gestelltem Bildschirm durch (siehe Abbildung 11).

### 2.2.2 Resultate

Gemessen wurde die Abweichung der von der Versuchsperson lokalisierten letzten Position des Targets zur Position an der das Target tatsächlich verschwunden war. Diese Abweichung wird im Folgenden *Lokalisationsfehler* genannt. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Richtung der vorangegangenen Targetbewegung, negative Werte dementsprechend einen Lokalisationsfehler entgegen der vorangegangenen Targetbewegung. Zusätzlich wurde die Zeit gemessen, zwischen

dem Verschwinden des Targets und dem Lokalisieren der Versuchsperson, diese wird im Folgenden *Reaktionszeit* genannt. Zuletzt wurde bei horizontaler Targetbewegung die Abweichung in y-Richtung der von der Versuchsperson lokalisierten letzten Targetposition von der tatsächlichen letzten Targetposition gemessen, dieser Wert wird *y-Abweichung* genannt und ist orthogonal zur Bewegungsrichtung. Bei allen im Folgenden aufgeführten Auswertungen wird immer ein Signifikanz-Niveau von  $\alpha = .05$  benutzt.

**Datenkorrektur.** In den ersten zehn Einführungsdurchgängen sollte ein sichtbares Target lokalisiert werden, welches sich nicht bewegte und nicht verschwand. Aufgrund des die ganze Zeit sichtbaren Targets sollte die Abweichung der Lokalisation von der tatsächlichen Targetposition gleich Null sein. Jegliche Abweichung die von Null abweicht, kann auf einen systematischen Fehler des Messinstruments oder der Versuchsperson schliessen lassen. Um solche systematischen Fehler auszuschliessen wurden die Rohdaten der Lokalisationsfehler jeder Versuchsperson mit den gemittelten Daten der ersten zehn Einführungsdurchgänge dieser Versuchsperson korrigiert.

**Lokalisationsfehler.** Mit den korrigierten Daten wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Messwiederholung, Bewegungsrichtung des Targets und Geschwindigkeit des Targets, sowie den Zwischensubjektfaktoren Alter, Händigkeit und Geschlecht.

Ein Vergleich der Lokalisationsfehler der drei Altersgruppen ist in Abbildung 12 dargestellt. Der Faktor Messwiederholung war über alle Altersgruppen signifikant ( $F(1, 40) = 5.21, p < .05, \eta^2 = .12$ ), der Lokalisationsfehler war insgesamt grösser im zweiten Teil des Experimentes als im ersten. In einer nach Alter getrennten Auswertung wurde dieser Faktor allerdings nicht mehr signifikant (Erwachsene:  $F < 1, p = .53, \eta^2 = .03$ , Erstklässler:  $F(1, 13) = 2.77, p = .12, \eta^2 = .18$ , nur bei den Viertklässlern zeigte sich eine Tendenz zu diesem Unterschied,  $F(1, 13) = 4.18, p = .06, \eta^2 = .24$ ). Die Interaktion Messwiederholung x Alter war ebenfalls knapp nicht signifikant



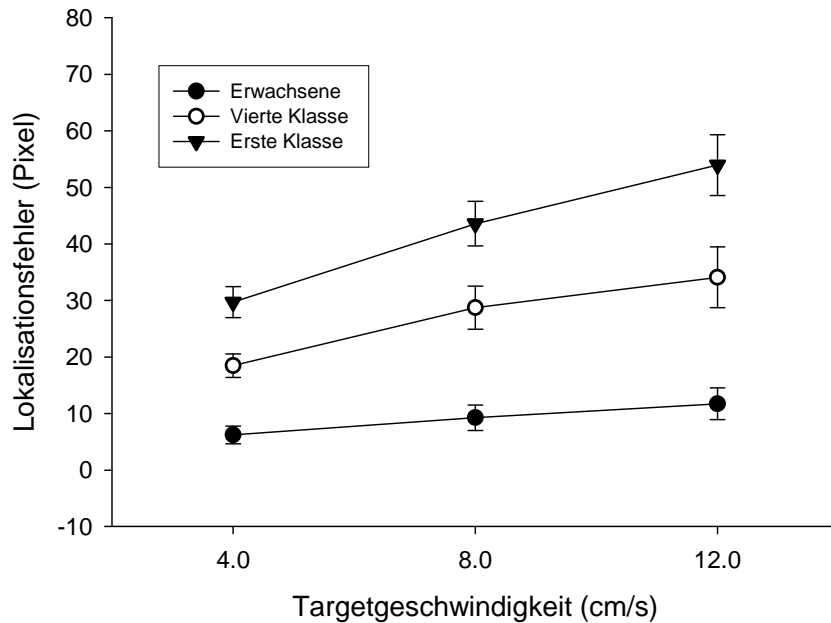


Abbildung 12: Resultate der Lokalisationsfehler von Experiment 1.1. Über die vier Bewegungsrichtungen gemittelte Lokalisationsfehler der drei Altersklassen im Vergleich. Positive Werte stehen für einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

( $F(2, 40) = 3.20, p = .051, \eta^2 = .14$ ), dieser Einfluss der Messwiederholung war tendenziell bei den Kindern grösser als bei den Erwachsenen. In den folgenden Analysen der einzelnen Alterskategorien werden die Daten über den Faktor Messwiederholung gemittelt betrachtet. Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der Bewegungsrichtung des Targets ( $F(3, 120) = 8.97, p < .001, \eta^2 = .18$ ). Auf die konkreten Unterschiede der einzelnen Bewegungsrichtungen wird später detailliert eingegangen. Weiter zeigte sich ein signifikanter Effekt der Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 80) = 15.00, p < .001, \eta^2 = .27$ ), je grösser die Targetgeschwindigkeit war, desto grösser war auch der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Interaktion von Targetgeschwindigkeit und Alter war signifikant ( $F(4, 80) = 6.23, p < .001, \eta^2 = .26$ ). Die Grösse des Lokalisationsfehlers stieg mit steigender Targetgeschwindigkeit stärker an, je jünger die Kinder waren (siehe Abbildung 12).

Bei den untersuchten Zwischensubjektfaktoren zeigten sich folgende Effekte: Das Geschlecht der Versuchspersonen hatte einen signifikanten Einfluss auf die

erhobenen Daten ( $F(1, 40) = 9.13, p < .01, \eta^2 = .19$ ), weibliche Versuchspersonen produzierten einen grösseren Lokalisationsfehler als männliche Versuchspersonen. Ebenfalls signifikant war der Faktor Alter ( $F(2, 40) = 35.53, p < .001, \eta^2 = .64$ ). Je jünger die Versuchspersonen waren, desto grösser war der produzierte Lokalisationsfehler (siehe Abbildung 12). Die Händigkeit der Versuchspersonen spielte keine Rolle ( $F(1, 40) = 1.25, p = .27, \eta^2 = .03$ ), auch über diesen Faktor wurden die Daten in den weiteren Analysen gemittelt.

Mit den über die Messwiederholung gemittelten Daten wurde pro Altersgruppe eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung des Targets, Geschwindigkeit des Targets, sowie dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht.

**Erwachsene - Vertikal.** Die Ergebnisse der Erwachsenen bei der Durchführung mit aufrechtem Körper und Bildschirm sind in Abbildung 13 dargestellt. In den Daten der Erwachsenen zeigte sich ein signifikanter Effekt der Bewegungsrichtung ( $F(3, 45) = 15.21, p < .001, \eta^2 = .50$ ). Auf diesen Effekt wird im Folgenden vertieft eingegangen. Wie die Bewegungsrichtung wurde auch der Effekt der Targetgeschwindigkeit signifikant ( $F(2, 30) = 11.46, p < .001, \eta^2 = .43$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Neben diesen beiden Effekten zeigte sich eine signifikante Interaktion der Bewegungsrichtung mit der Geschwindigkeit des Targets ( $F(6, 90) = 3.57, p < .01, \eta^2 = .19$ ).

Beim Vergleich der horizontalen mit der vertikalen Targetbewegung zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $F(1, 15) = 55.45, p < .001, \eta^2 = .79$ ), der Lokalisationsfehler war bei horizontaler Targetbewegung grösser als bei vertikaler. Zusätzlich zeigte sich eine signifikante Interaktion der generellen Bewegungsrichtung (horizontal vs. vertikal) mit der Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 30) = 8.43, p < .01, \eta^2 = .36$ ). Die Targetgeschwindigkeit wurde nur bei horizontaler Targetbewegung berücksichtigt. Bei vertikaler Targetbewegung hatte die Targetgeschwindigkeit keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler.

Getrennt nach horizontaler und vertikaler Bewegungsrichtung ausgewertet

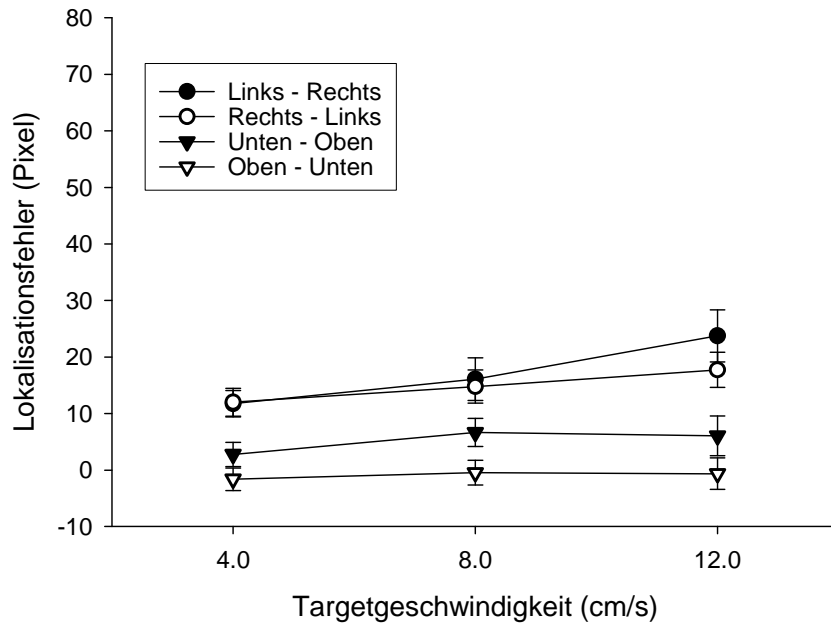


Abbildung 13: Resultate der Lokalisationsfehler von Experiment 1.1. Nach den Bewegungsrichtungen aufgeteilte Daten der erwachsenen Versuchspersonen in der Bedingung mit vertikaler Körper- und Bildschirmposition. Positive Werte stehen für einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

zeigten sich folgende Effekte: Bei horizontaler Targetbewegung ergab sich ein signifikanter Effekt der Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 30) = 13.73, p < .001, \eta^2 = .48$ ). Die Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .45, \eta^2 = .04$ ) und die Interaktion der beiden Faktoren ( $F(2, 30) = 2.04, p = .15, \eta^2 = .12$ ), waren nicht signifikant.

Bei vertikaler Bewegungsrichtung war weder die Bewegungsrichtung ( $F(1, 15) = 3.03, p = .10, \eta^2 = .17$ ), noch die Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 30) = 2.84, p = .08, \eta^2 = .16$ ), noch die Interaktion dieser beiden Faktoren ( $F < 1, p = .45, \eta^2 = .05$ ) signifikant. Die Grösse des Lokalisationsfehlers war sowohl bei Bewegung von unten nach oben ( $M = 5.16 \text{ Pixel}, SD = 10.40 \text{ Pixel}, t(15) = 1.99, p < .07$  (2-seitig),  $d = 1.03$ ), als auch bei Bewegung von oben nach unten ( $M = -.02 \text{ Pixel}, SD = 8.65 \text{ Pixel}, t(15) = -.43, p = .68$  (2-seitig),  $d = -.22$ ) nicht unterschiedlich von null. Es zeigt sich aber eine Tendenz, dass bei einer Targetbewegung nach oben der Lokalisationsfehler eher über Null liegt und grösser ist als bei einer Bewegung nach unten.

Der Zwischensubjektfaktor Geschlecht war nicht signifikant ( $F(1, 14) = 2.18, p = .16, \eta^2 = .14$ ), die Daten der weiblichen Versuchspersonen unterschieden sich nicht von den Daten der männlichen Versuchspersonen. Dieser Faktor Geschlecht interagierte auch mit keinem anderen Faktor (Bewegungsrichtung x Geschlecht:  $F(3, 42) = 1.11, p = .36, \eta^2 = .07$ , Targetgeschwindigkeit x Geschlecht:  $F(2, 28) = 1.93, p = .16, \eta^2 = .12$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit x Geschlecht:  $F < 1, p = .90, \eta^2 = .03$ ).

**Kinder der vierten Klasse.** Die Ergebnisse der im Durchschnitt zehn Jahre alten Kinder der vierten Klasse sind in Abbildung 14 dargestellt. Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der Bewegungsrichtung ( $F(3, 45) = 10.07, p < .001, \eta^2 = .40$ ), auch die Viertklässler zeigten unterschiedliche Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der Bewegungsrichtung des Targets worauf im Folgenden vertieft eingegangen wird. Weiter signifikant wurde der Faktor Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 30) = 16.39, p < .001, \eta^2 = .52$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler. Die Interaktion der beiden Faktoren Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit wurde ebenfalls signifikant ( $F(6, 90) = 2.29, p < .05, \eta^2 = .13$ ), die Targetgeschwindigkeit wurde je nach Bewegungsrichtung unterschiedlich unterschieden.

Bei einer weiteren Auswertung, in der die horizontale Targetbewegung mit der vertikalen Targetbewegung verglichen wurde, zeigte sich ein Effekt dieser globalen Bewegungsrichtung, ( $F(1, 15) = 42.16, p < .001, \eta^2 = .74$ ), der Lokalisationsfehler war bei horizontaler Targetbewegung grösser als bei vertikaler.

Bei horizontaler Targetbewegung ergab sich kein Unterschied zwischen der Targetbewegung von links nach rechts und der Targetbewegung von rechts nach links ( $F < 1, p = .60, \eta^2 = .02$ ). Die Geschwindigkeit wurde von den Kindern bei horizontaler Targetbewegung berücksichtigt ( $F(2, 30) = 18.49, p < .001, \eta^2 = .55$ ), es zeigte sich keine Interaktion von Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit ( $F < 1, p = .73, \eta^2 = .02$ ).

Bei vertikaler Targetbewegung zeigte sich kein Unterschied zwischen der Bewegungsrichtung von unten nach oben und der Bewegungsrichtung von oben

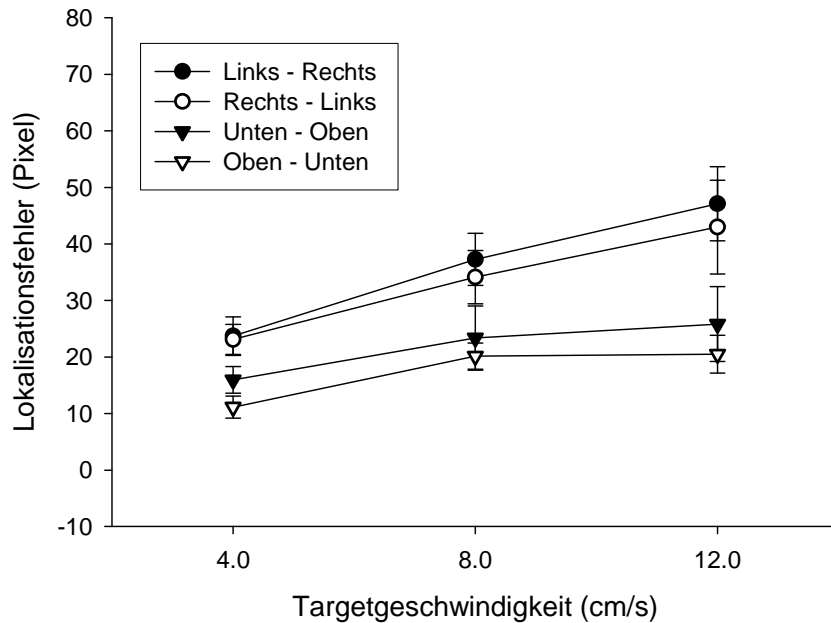


Abbildung 14: Resultate der Lokalisationsfehler von Experiment 1.1. Nach den vier Bewegungsrichtungen aufgeteilte Daten der Kinder der vierten Klasse. Positive Werte stehen für einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

nach unten ( $F(1, 15) = 1.40, p = .26, \eta^2 = .09$ ). Die Targetgeschwindigkeit beeinflusste den Lokalisationsfehler auch bei vertikaler Targetbewegung ( $F(2, 30) = 6.01, p < .01, \eta^2 = .29$ ), je grösser die Targetgeschwindigkeit war, desto grösser war auch der Lokalisationsfehler. Die Interaktion der Faktoren Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit hatte keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .90, \eta^2 = .01$ ).

Der Zwischensubjektfaktor Geschlecht hatte keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 14) = 2.46, p = .14, \eta^2 = .15$ ), die Resultate der Mädchen unterschieden sich nicht von den Resultaten der Jungen. Keine Interaktion mit dem Faktor Geschlecht war signifikant (Bewegungsrichtung x Geschlecht:  $F < 1, p = .65, \eta^2 = .04$ , Targetgeschwindigkeit x Geschlecht:  $F(2, 28) = 1.96, p = .16, \eta^2 = .12$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit x Geschlecht:  $F(6, 84) = 1.24, p = .30, \eta^2 = .08$ ).

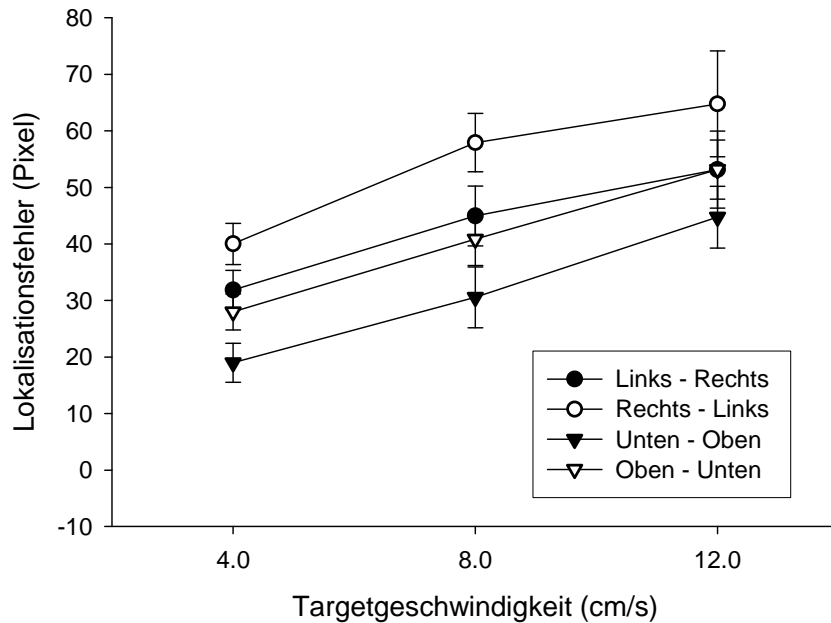


Abbildung 15: Resultate der Lokalisationsfehler von Experiment 1.1. Nach den vier Bewegungsrichtungen aufgeteilte Daten der Kinder der ersten Klasse. Positive Werte stehen für einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

**Kinder der ersten Klasse.** Die Ergebnisse der im Durchschnitt sieben Jahre alten Kinder der ersten Klasse sind in Abbildung 15 dargestellt. Sie produzierten einen grösseren Lokalisationsfehler bei schnelleren Targets als bei langsameren Targets ( $F(3, 45) = 6.93, p < .01, \eta^2 = .32$ ). Der Faktor Bewegungsrichtung des Targets war signifikant ( $F(2, 30) = 35.64, p < .001, \eta^2 = .70$ ), der Lokalisationsfehler war je nach Bewegungsrichtung unterschiedlich. Die Interaktion von Targetgeschwindigkeit und Richtung war nicht signifikant ( $F < 1, p = .91, \eta^2 = .02$ ).

Der Lokalisationsfehler war bei horizontaler Targetbewegung grösser als bei vertikaler Targetbewegung ( $F(1, 15) = 15.21, p < .01, \eta^2 = .50$ ).

Bei horizontaler Targetbewegung zeigte sich kein Unterschied im Lokalisationsfehler abhängig von der Bewegungsrichtung ( $F(1, 15) = 2.98, p = .11, \eta^2 = .17$ ). Aus den in Abbildung 15 dargestellten Daten könnte der Eindruck entstehen, dass eine Targetbewegung von rechts nach links einen grösseren Lokalisationsfehler zur Folge hatte als eine Targetbewegung von links nach rechts.

Dieser Unterschied ist aber auf Grund der grossen Varianz in den Daten der siebenjährigen Kinder nicht signifikant. Die Targetgeschwindigkeit hatte bei horizontaler Targetbewegung einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(2, 30) = 18.94, p < .001, \eta^2 = .56$ ). Die Interaktion dieser beiden Faktoren spielte dagegen keine Rolle in Bezug auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .82, \eta^2 = .01$ ).

Bei vertikaler Targetbewegung ergab sich ein signifikanter Effekt der Bewegungsrichtung ( $F(1, 15) = 5.67, p < .05, \eta^2 = .27$ ), der Lokalisationsfehler war bei Bewegung von unten nach oben kleiner als bei Bewegung von oben nach unten. Die Targetgeschwindigkeit hatte auch bei vertikaler Targetbewegung einen signifikanten Einfluss ( $F(2, 30) = 32.81, p < .001, \eta^2 = .69$ ), je schneller das Target sich bewegte, desto grösser wurde der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Interaktion von Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .96, \eta^2 = .00$ ).

Die produzierten Lokalisationsfehler der siebenjährigen Mädchen unterschieden sich signifikant von denjenigen der Jungen ( $F(1, 14) = 5.30, p < .05, \eta^2 = .27$ ), der Lokalisationsfehler war bei den Mädchen grösser als bei den Jungen. Sämtliche Interaktionen mit dem Faktor Geschlecht waren nicht signifikant (Bewegungsrichtung x Geschlecht:  $F < 1, p = .66, \eta^2 = .04$ , Targetgeschwindigkeit x Geschlecht:  $F < 1, p = .50, \eta^2 = .05$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit x Geschlecht:  $F < 1, p = .90, \eta^2 = .03$ ).

**Erwachsene - horizontal.** Die Ergebnisse der Erwachsenen bei Durchführung mit horizontaler Körper- und Bildschirmposition sind in Abbildung 16 dargestellt. Hier zeigte sich ebenfalls ein Effekt der Bewegungsrichtung<sup>7</sup>, der im Folgenden genauer beschrieben wird ( $F(3, 45) = 21.83, p < .001, \eta^2 = .59$ ). Der Lokalisationsfehler war grösser, je schneller sich das Target bewegte ( $F(2, 30) = 21.48, p < .001, \eta^2 = .59$ ). Ebenfalls signifikant war die Interaktion

---

<sup>7</sup>Bei horizontal gestelltem Bildschirm sind eigentlich alle vier präsentierten Bewegungsrichtungen horizontal. Mit vertikaler Targetbewegung ist hier die Bewegung parallel zur Körperlängsachse gemeint.

dieser beiden Faktoren ( $F(6, 90) = 4.73, p < .001, \eta^2 = .24$ ), die Targetgeschwindigkeit hatte je nach Bewegungsrichtung einen unterschiedlichen Einfluss auf den Lokalisationsfehler.

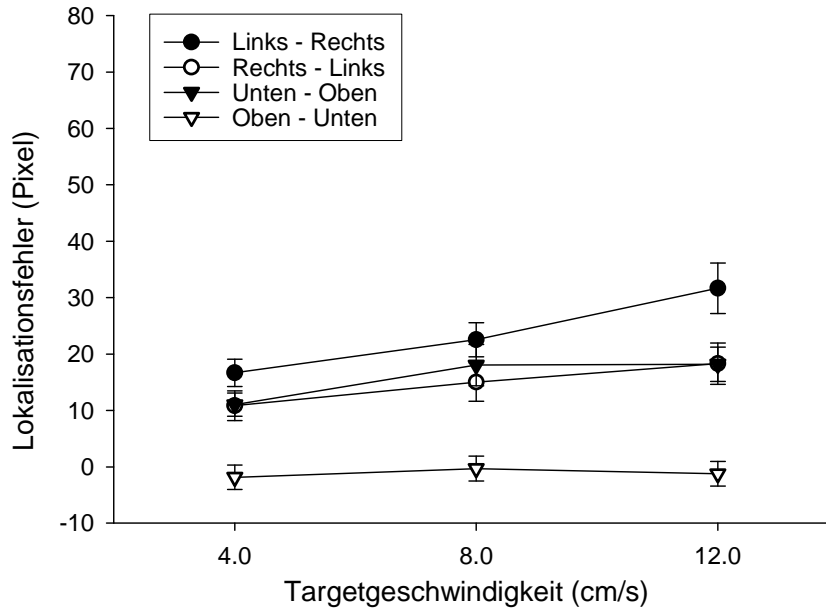


Abbildung 16: Resultate der Lokalisationsfehler von Experiment 1.1. Nach den vier Bewegungsrichtungen aufgeteilte Daten der Erwachsene bei horizontaler Körper- und Bildschirmposition. Positive Werte stehen für einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

Bei einer weiteren Auswertung, in der die horizontale Targetbewegung mit der vertikalen Targetbewegung verglichen wurde, zeigte sich ein Effekt dieser globalen Bewegungsrichtung, ( $F(1, 15) = 44.64, p < .001, \eta^2 = .75$ ), der Lokalisationsfehler war bei horizontaler Targetbewegung grösser als bei vertikaler.

Bei horizontaler Targetbewegung zeigte sich ein signifikanter Effekt der Bewegungsrichtung ( $F(1, 15) = 6.72, p < .05, \eta^2 = .31$ ), der Lokalisationsfehler war bei einer Targetbewegung von links nach rechts grösser als bei einer Targetbewegung von rechts nach links. Der Lokalisationsfehler war auch grösser, je schneller sich das Target bewegte ( $F(2, 30) = 19.83, p < .001, \eta^2 = .57$ ). Ebenfalls signifikant war die Interaktion dieser beiden Faktoren ( $F(2, 30) = 5.03, p < .05, \eta^2 = .25$ ), die Targetgeschwindigkeit wurde bei einer Targetbewegung von links nach rechts stärker unterschieden als bei einer Targetbewegung von rechts nach



links.

Bei vertikaler Targetbewegung hatte die Bewegungsrichtung ebenfalls einen signifikanten Effekt ( $F(1, 15) = 24.83, p < .001, \eta^2 = .62$ ), bei einer Bewegung von unten nach oben war der Lokalisationsfehler grösser als bei einer Bewegung von oben nach unten. Die Targetgeschwindigkeit wirkte sich signifikant auf den Lokalisationsfehler aus ( $F(2, 30) = 4.62, p < .05, \eta^2 = .24$ ), je schneller das Target sich bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler. Die Interaktion dieser beiden Faktoren war knapp nicht signifikant ( $F(2, 30) = 3.19, p = .06, \eta^2 = .18$ ). Tendenziell war der Effekt der Targetgeschwindigkeit grösser bei einer Targetbewegung von unten nach oben als bei einer Targetbewegung von oben nach unten. In Abbildung 16 ist zu erkennen, dass die Targetgeschwindigkeit nur die einer Targetbewegung von unten nach oben den Lokalisationsfehler beeinflusst, bei einer Bewegungsrichtung nach unten ist der Lokalisationsfehler bei allen drei Targetgeschwindigkeiten nicht von Null unterschieden (4.0 cm/s:  $M = -1.86$  Pixel,  $SD = 8.62$  Pixel,  $t(15) = -.86, p = .40$  (2-seitig),  $d = -.44$ ; 8.0 cm/s:  $M = -.32$  Pixel,  $SD = 8.84$  Pixel,  $t(15) = -.15, p = .89$  (2-seitig),  $d = -.08$ ; 12.0 cm/s:  $M = -1.25$  Pixel,  $SD = 8.72$  Pixel,  $t(15) = -.57, p = .58$  (2-seitig),  $d = -.29$ ).

Der Zwischensubjektfaktor Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 14) = 3.82, p = .07, \eta^2 = .21$ ), tendenziell war der Lokalisationsfehler allerdings grösser bei den weiblichen als bei den männlichen Versuchspersonen. Die Interaktionen mit dem Faktor Geschlecht waren nicht signifikant (Bewegungsrichtung x Geschlecht:  $F(3, 42) = 2.83, p = .05, \eta^2 = .17$ , Targetgeschwindigkeit x Geschlecht:  $F(2, 28) = 2.35, p = .11, \eta^2 = .14$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit x Geschlecht:  $F(6, 84) = 1.12, p = .36, \eta^2 = .07$ ), tendenziell war der Lokalisationsfehler bei den weiblichen Versuchspersonen in allen Bewegungsrichtungen grösser als bei den männlichen Versuchspersonen, ausser bei einer Bewegungsrichtung von oben nach unten; bei dieser Bewegungsrichtung war es umgekehrt.

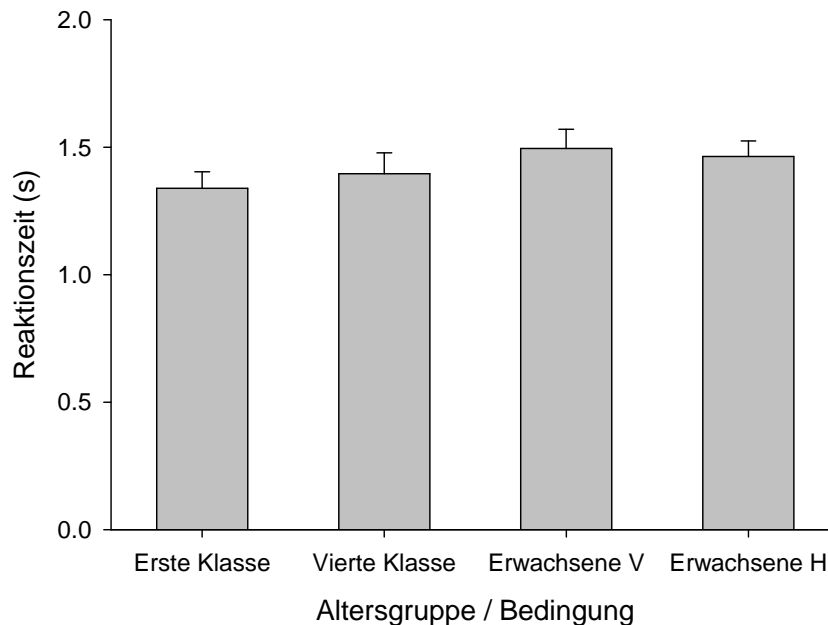


Abbildung 17: Resultate der Reaktionszeiten von Experiment 1.1. Vergleich der drei Altersgruppen, sowie der vertikalen (V) horizontalen (H) Bedingung der Erwachsenen. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

**Reaktionszeit.** Mit den Reaktionszeiten wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Messwiederholung, Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit, sowie den Zwischensubjektfaktoren Alter, Geschlecht und Händigkeit der Versuchspersonen. Die Ergebnisse über alle Altersklassen sind in Abbildung 17 dargestellt. Die Faktoren Messwiederholung ( $F < 1, p = .38, \eta^2 = .02$ ), Bewegungsrichtung ( $F(3, 120) = 1.24, p = .30, \eta^2 = .03$ ) und Targetgeschwindigkeit ( $F < 1, p = .98, \eta^2 = .00$ ) waren nicht signifikant, ebenso die Zwischensubjektfaktoren Alter ( $F(1, 40) = 1.31, p = .28, \eta^2 = .06$ ), Geschlecht ( $F < 1, p = .81, \eta^2 = .00$ ) und Händigkeit ( $F < 1, p = .74, \eta^2 = .00$ ) der Versuchspersonen. Es zeigten sich keine Unterschiede in den Reaktionszeiten abhängig einer der oben aufgeführten Faktoren.

Für die nach dem Alter der Versuchspersonen getrennte Auswertung wurden die über die Messwiederholung gemittelten Daten verwendet und eine Varianzanalyse mit den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit gerechnet.

**Erwachsene - Vertikal.** Die beiden Faktoren Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .74, \eta^2 = .03$ ) und Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 30) = 1.94, p = .16, \eta^2 = .11$ ) sowie die Interaktion dieser beiden Faktoren ( $F < 1, p = .97, \eta^2 = .01$ ) waren nicht signifikant. Keiner der Faktoren wirkte sich in irgendeiner Form wesentlich auf die Reaktionszeit aus.

**Kinder der vierten Klasse.** Bei den zehnjährigen Kindern hatten die Faktoren Bewegungsrichtung ( $F(3, 45) = 1.32, p = .28, \eta^2 = .08$ ), Targetgeschwindigkeit ( $F < 1, p = .68, \eta^2 = .03$ ) und die Interaktion dieser beiden Faktoren ( $F < 1, p = .68, \eta^2 = .04$ ) wie bei den Erwachsenen keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten.

**Kinder der ersten Klasse.** Bei den siebenjährigen Kindern hatten die Faktoren Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .57, \eta^2 = .04$ ), Targetgeschwindigkeit ( $F < 1, p = .69, \eta^2 = .03$ ) und die Interaktion ( $F < 1, p = .94, \eta^2 = .02$ ) dieser beiden Faktoren ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten.

**Erwachsene - Horizontal.** Die Reaktionszeiten der Erwachsenen bei Durchführung der horizontalen Bedingung unterscheiden sich nicht signifikant von den Reaktionszeiten bei Durchführung in der vertikalen Bedingung, ( $F < 1, p = .74, \eta^2 = .00$ ). Bei horizontaler Durchführung der Aufgabe hatten die Faktoren Bewegungsrichtung ( $F(3, 45) = 1.10, p = .36, \eta^2 = .07$ ), Targetgeschwindigkeit ( $F < 1, p = .40, \eta^2 = .06$ ) sowie der Interaktion ( $F < 1, p = .58, \eta^2 = .05$ ) keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten.

**y-Abweichung.** Mit den Daten der y-Abweichung wurde zuerst über alle Altersgruppen und danach pro Altersgruppe eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit, sowie den Zwischensubjektfaktoren Alter, Geschlecht und Händigkeit.

Die Daten der y-Abweichung des Lokalisationsfehlers sind in Abbildung 18 dargestellt. Das Geschlecht ( $F(1, 45) = 2.47, p = .12, \eta^2 = .05$ ) und die Händigkeit ( $F < 1, p = .62, \eta^2 = .05$ ) hatten keinen signifikanten Einfluss

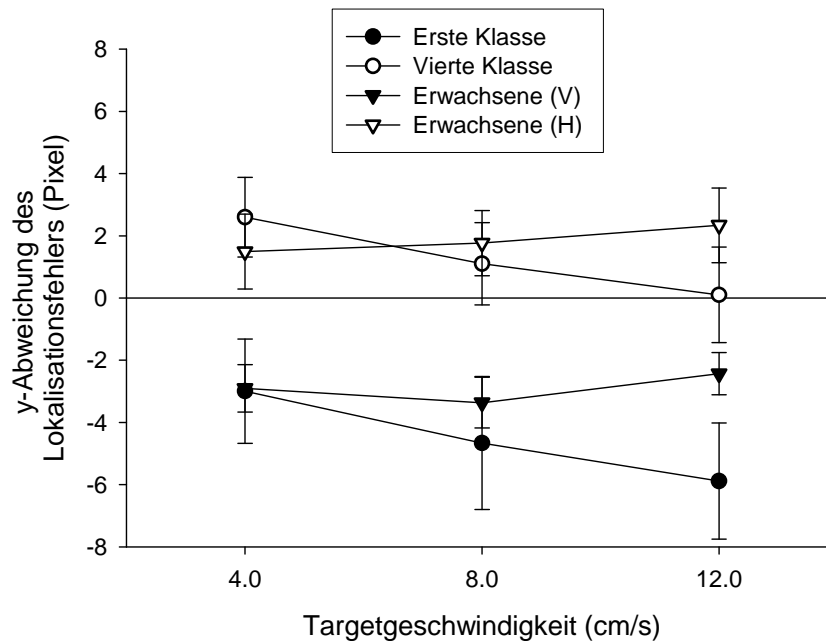


Abbildung 18: Resultate der y-Abweichung des Lokalisationsfehlers von Experiment 1.1 bei horizontaler Targetbewegung. Vergleich der drei Altersgruppen, sowie der vertikalen (V) horizontalen (H) Bedingung der Erwachsenen. Positive Werte stehen für eine Abweichung in positiver y-Richtung, also nach oben, negative Werte für eine Abweichung in negativer y-Richtung, also nach unten. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

auf die Abweichung in y-Richtung. Das Alter dagegen hatte einen signifikanten Effekt auf die Abweichung in y-Richtung ( $F(2, 45) = 6.27, p < .01, \eta^2 = .22$ ), bei den siebenjährigen Kindern und den Erwachsenen war der Lokalisationsfehler in negativer y-Richtung, bei den zehnjährigen Kindern in positiver y-Richtung. Weiter wurde eine Varianzanalyse gerechnet, getrennt für die drei Altersgruppen, sowie für die Bedingung, in der die Erwachsenen die Aufgabe auf dem Bauch liegend bei horizontal positioniertem Bildschirm lösten.

**Erwachsene - vertikal.** Das Geschlecht hatte bei den erwachsenen Versuchspersonen keinen Effekt auf die y-Abweichung des Lokalisationsfehlers ( $F < 1, p = .47, \eta^2 = .04$ ). Die Händigkeit konnte nicht verglichen werden, da alle Versuchspersonen rechtshändig waren. Der Faktor Geschlecht wurde nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Weder Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .35, \eta^2 = .06$ ), Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 15) = 2.05, p = .15, \eta^2 = .12$ ) noch die Interaktion dieser beiden Faktoren ( $F < 1, p = .75, \eta^2 = .02$ ) hatte einen signifikanten Einfluss auf die y-Abweichung. Die über die Bewegungsrichtung gemittelten Daten der y-Abweichungen waren für alle Targetgeschwindigkeiten in negativer y-Richtung von Null verschieden (4.0 cm/s:  $M = -2.91$  Pixel,  $SD = 2.93$  Pixel,  $t(15) = -3.97, p < .01$  (2-seitig),  $d = -2.05$ ; 8.0 cm/s:  $M = -3.36$  Pixel,  $SD = 3.05$  Pixel,  $t(15) = -4.41, p < .01$  (2-seitig),  $d = -2.28$ ; 12.0 cm/s:  $M = -2.43$  Pixel,  $SD = 2.40$  Pixel,  $t(15) = -4.04, p < .01$  (2-seitig),  $d = -2.09$ ).

**Zehnjährige Kinder.** Die Zwischensubjektfaktoren Geschlecht ( $F < 1, p = .65, \eta^2 = .02$ ) und Händigkeit ( $F < 1, p = .70, \eta^2 = .01$ ) hatten keinen signifikanten Effekt auf die y-Abweichung. Diese Faktoren wurden nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Die Bewegungsrichtung hatte einen signifikanten Einfluss auf die y-Abweichung ( $F(1, 15) = 8.12, p < .05, \eta^2 = .35$ ), die Abweichung des Lokalisationsfehlers in y-Richtung war bei einer Targetbewegung von links nach rechts kleiner als bei einer Targetbewegung von rechts nach links. Sie war gemittelt über die Targetgeschwindigkeit jeweils nach oben gerichtet. Ebenfalls signifikant war der Faktor Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 30) = 4.22, p < .05, \eta^2 = .22$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto kleiner war die y-Abweichung. Die Interaktion der beiden Faktoren war nicht signifikant ( $F < 1, p = .81, \eta^2 = .01$ ). Von den über die Bewegungsrichtung gemittelten Daten der y-Abweichungen waren nur diejenigen der Targetgeschwindigkeit 4.0 cm/s signifikant von null unterschieden (4.0 cm/s:  $M = 2.60$  Pixel,  $SD = 4.54$  Pixel,  $t(15) = 2.29, p < .05$  (2-seitig),  $d = 1.18$ ; 8.0 cm/s:  $M = 1.10$  Pixel,  $SD = 3.90$  Pixel,  $t(15) = 1.13, p = .28$  (2-seitig),  $d = .58$ ; 12.0 cm/s:  $M = .10$  Pixel,  $SD = 5.56$  Pixel,  $t(15) = .08, p = .94$  (2-seitig),  $d = .04$ ).

**Siebenjährige Kinder.** Das Geschlecht hatte bei den siebenjährigen Kindern einen Effekt auf die y-Abweichung des Lokalisationsfehlers ( $F(1, 13) =$

5.85,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .31$ ), die y-Abweichung der weiblichen Versuchspersonen war nicht von null unterschieden (4.0 cm/s:  $M = .07$  Pixel,  $SD = 4.90$  Pixel,  $t(8) = .04$ ,  $p = .97$  (2-seitig),  $d = .03$ ; 8.0 cm/s:  $M = -1.14$  Pixel,  $SD = 3.90$  Pixel,  $t(8) = -.87$ ,  $p = .41$  (2-seitig),  $d = -.62$ ; 12.0 cm/s:  $M = -2.67$  Pixel,  $SD = 5.07$  Pixel,  $t(8) = -1.57$ ,  $p = .15$  (2-seitig),  $d = -1.11$ ). Die y-Abweichung der männlichen Versuchspersonen war in negative y-Richtung gerichtet (4.0 cm/s:  $M = -6.93$  Pixel,  $SD = 6.17$  Pixel,  $t(6) = -2.98$ ,  $p < .05$  (2-seitig),  $d = -2.43$ ; 8.0 cm/s:  $M = -9.20$  Pixel,  $SD = 10.10$  Pixel,  $t(6) = -2.41$ ,  $p = .05$  (2-seitig),  $d = -1.97$ ; 12.0 cm/s:  $M = -10.02$  Pixel,  $SD = 6.39$  Pixel,  $t(6) = -4.15$ ,  $p < .01$  (2-seitig),  $d = -3.39$ ). Die Händigkeit hatte keinen Einfluss auf die y-Abweichung ( $F < 1$ ,  $p = .57$ ,  $\eta^2 = .03$ ). Diese Faktoren wurden nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Die Bewegungsrichtung hatte einen signifikanten Einfluss auf die y-Abweichung ( $F(1, 15) = 8.22$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .35$ ), die y-Abweichung war weniger negativ bei Targetbewegung von rechts nach links als bei Targetbewegung von links nach rechts. Die Targetgeschwindigkeit hatte nur einen tendenziellen Einfluss ( $F(2, 30) = 3.10$ ,  $p = .06$ ,  $\eta^2 = .17$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto negativer war die Abweichung in der y-Richtung. Die Interaktion dieser beiden Faktoren war nicht signifikant ( $F < 1$ ,  $p = .80$ ,  $\eta^2 = .02$ ). Die über die Bewegungsrichtung gemittelten Daten der y-Abweichungen waren für alle Targetgeschwindigkeiten zumindest tendenziell von null verschieden (4.0 cm/s:  $M = -3.00$  Pixel,  $SD = 6.40$  Pixel,  $t(15) = -1.88$ ,  $p = .08$  (2-seitig),  $d = -.97$ ; 8.0 cm/s:  $M = -4.66$  Pixel,  $SD = 8.12$  Pixel,  $t(15) = -2.30$ ,  $p < .05$  (2-seitig),  $d = -1.19$ ; 12.0 cm/s:  $M = -5.88$  Pixel,  $SD = 6.65$  Pixel,  $t(15) = -3.54$ ,  $p < .01$  (2-seitig),  $d = -1.83$ ).

**Erwachsene - horizontal.** Das Geschlecht hatte keinen Effekt auf die y-Abweichung ( $F(1, 14) = 1.13$ ,  $p = .31$ ,  $\eta^2 = .08$ ). Der Faktor Geschlecht wurde nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen. Die Händigkeit konnte nicht verglichen werden, da alle Versuchspersonen rechtshändig waren.

Die Bewegungsrichtung ( $F < 1$ ,  $p = .62$ ,  $\eta^2 = .02$ ), die Targetgeschwin-

digkeit ( $F(2, 30) = 1.27, p = .29, \eta^2 = .08$ ) hatten keinen signifikanten Effekt auf die y-Abweichung. Die Interaktion dieser beiden Faktoren war signifikant ( $F(2, 30) = 3.48, p < .05, \eta^2 = .19$ ), bei einer Targetbewegung von links nach rechts war die y-Abweichung am grössten bei einer Targetgeschwindigkeit von 8.0 cm/s, bei einer Targetbewegung von rechts nach links war es umgekehrt, hier war die y-Abweichung am kleinsten bei der Targetgeschwindigkeit von 8.0 cm/s. Die über die Bewegungsrichtung gemittelten Daten der y-Abweichungen waren für alle Targetgeschwindigkeiten allenfalls tendenziell in positiver y-Richtung von null verschieden (4.0 cm/s:  $M = 1.49$  Pixel,  $SD = 4.68$  Pixel,  $t(15) = 1.28, p = .22$  (2-seitig),  $d = .66$ ; 8.0 cm/s:  $M = 1.77$  Pixel,  $SD = 3.99$  Pixel,  $t(15) = 1.77, p = .10$  (2-seitig),  $d = .91$ ; 12.0 cm/s:  $M = 2.34$  Pixel,  $SD = 4.48$  Pixel,  $t(15) = 2.09, p = .05$  (2-seitig),  $d = 1.08$ ).

### **Vergleich Erwachsene vertikal vs. Erwachsene horizontal.**

Vergleicht man die Bedingung, in der die Erwachsenen die Aufgabe bei vertikal positioniertem Bildschirm lösen mit der Bedingung mit horizontalem Bildschirm, zeigt sich ein signifikanter Effekt der Bildschirmposition ( $F(1, 30) = 14.85, p < .01, \eta^2 = .33$ ). Bei horizontal gestelltem Bildschirm ist die y-Abweichung nicht von null verschieden, allenfalls tendenziell in positive y-Richtung (siehe oben), bei vertikalem Bildschirm ist die Abweichung in negative y-Richtung signifikant von null unterschieden. Der Faktor Bildschirmposition interagiert dabei mit keinem der Innersubjektfaktoren (Bildschirmposition x Bewegungsrichtung:  $F(1, 30) = 1.01, p = .32, \eta^2 = .03$ , Bildschirmposition x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .59, \eta^2 = .02$ , Bildschirmposition x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 60) = 1.73, p = .19, \eta^2 = .06$ ).

### **2.2.3 Diskussion**

**Entwicklungspsychologie.** Die Ergebnisse der Untersuchung von Hubbard et al. (1999) konnten mit dem verwendeten Touchscreen-Paradigma weitgehend repliziert werden. Alle untersuchten Alterskategorien produzierten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung.

Die im Durchschnitt sieben Jahre alten Kinder der ersten Schulklasse produzierten den grössten Lokalisationsfehler, gefolgt von den im Durchschnitt zehn Jahre alten Kinder der vierten Klasse. Die untersuchten erwachsenen Versuchspersonen zeigten den kleinsten Lokalisationsfehler.

Der Lokalisationsfehler war in allen Altersgruppen grösser, je schneller sich das Target bewegte. Die Abstufung zwischen den einzelnen Targetgeschwindigkeiten war bei den sieben Jahre alten Kindern am grössten und nahm mit dem Alter ab. Die Bewegungsrichtung hatte in allen Altersgruppen einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler. Dieser war grösser bei horizontaler Targetbewegung als bei vertikaler. Der Einfluss der Bewegungsrichtung war nicht gleich für alle Alterskategorien. Die erwachsenen Versuchspersonen zeigten einen Lokalisationsfehler bei horizontaler Targetbewegung, wobei es keinen Unterschied machte, ob sich das Target von links nach rechts oder von rechts nach links bewegte. Dieser Lokalisationsfehler war grösser je schneller sich das Target bewegte. Bei vertikaler Targetbewegung zeigte sich kein Lokalisationsfehler, unabhängig von der Bewegungsrichtung und der Geschwindigkeit des Targets. Die zehnjährigen Kinder zeigten bei horizontaler und bei vertikaler Targetbewegung einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Er wurde grösser, je schneller sich das Target bewegte. Der Lokalisationsfehler war ebenfalls grösser bei horizontaler Targetbewegung als bei vertikaler, und die Targetgeschwindigkeit hatte einen stärkeren Einfluss bei horizontaler Targetbewegung als bei vertikaler. Die Bewegungsrichtung spielte bei horizontaler und vertikaler Targetbewegung keine Rolle. Die siebenjährigen Kinder zeigten ebenfalls bei horizontaler und bei vertikaler Targetbewegung einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Dieser war bei horizontaler Targetbewegung grösser als bei vertikaler und war grösser, je schneller sich das Target bewegte. Bei horizontaler Targetbewegung zeigte sich kein Unterschied zwischen den Bewegungsrichtungen. Bei vertikaler Targetbewegung war der Lokalisationsfehler grösser bei einer Bewegung von oben nach unten als von unten nach oben.

Nur bei den siebenjährigen Kindern zeigte sich ein Geschlechtsunterschied: Mädchen produzierten einen grösseren Lokalisationsfehler als Jungen. In den beiden anderen Altersgruppen zeigte sich kein Geschlechtsunterschied. Die



Händigkeit der Versuchspersonen hatte über alle Altersgruppen keinen Einfluss auf die produzierten Lokalisationsfehler.

Führten die Erwachsenen die Aufgabe auf dem Bauch liegend bei horizontal gestelltem Bildschirm durch, zeigte sich ein mit der Targetgeschwindigkeit grösser werdender Lokalisationsfehler bei horizontaler Targetbewegung und, im Gegensatz zu Durchführung sitzend bei vertikalem Bildschirm, bei vertikaler Targetbewegung von unten nach oben. Bei einer Targetbewegung von oben nach unten zeigte sich kein Lokalisationsfehler. Bei horizontaler Targetbewegung war der Lokalisationsfehler ausserdem grösser, wenn sich das Target nach rechts bewegte, als wenn es sich nach links bewegte.

Die Ergebnisse von Hubbard et al. (1999) konnten also grösstenteils repliziert werden. Kinder produzierten einen grösseren Lokalisationsfehler als Erwachsene. Allerdings unterschieden sich bei Hubbard die Daten der zehnjährigen Kinder nicht von denen der Erwachsenen, was sie in der vorliegenden Studie sehr wohl tun. Einerseits ist der Lokalisationsfehler bei den zehnjährigen Kindern insgesamt grösser als bei den Erwachsenen, andererseits unterscheidet sich auch das Muster der Daten bei vertikaler Targetbewegung.

Die gemessenen Reaktionszeiten zeigen, dass sich der bei den Kindern gefundene grössere Lokalisationsfehler nicht durch längere oder unterschiedliche Reaktionszeiten erklären lässt.

**Gravitationskraft.** In mehreren Studien zum Representational Momentum wurde von einem Einfluss der Gravitationskraft auf sich horizontal und vertikal bewegende Objekte berichtet (Hubbard & Bharucha, 1988; Nagai et al., 2002). Dieser Einfluss wurde in diesem Experiment auf drei Arten untersucht.

Als erstes wurde der Lokalisationsfehler bei vertikaler Targetbewegung von unten nach oben und von oben nach unten verglichen. Nach Hubbard und Bharucha (1988) sowie Nagai et al. (2002) müsste der Lokalisationsfehler zumindest bei aufrechter Körperhaltung durch die nach unten ziehende Gravitationskraft grösser sein bei einer Targetbewegung nach unten als bei einer Targetbewegung nach oben. Dies war bei den siebenjährigen Kindern der Fall. Die

zehnjährigen Kinder und die Erwachsenen zeigten allerdings keinen Unterschied in der vertikalen Bewegungsrichtung des Targets. Während die zehnjährigen Kinder wenigstens einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung zeigten, der auch mit steigender Targetgeschwindigkeit grösser wurde, zeigten die Erwachsenen bei vertikaler Targetbewegung nach oben und nach unten keinen klaren Lokalisationsfehler mehr. Bei horizontaler Durchführung war der Lokalisationsfehler sogar grösser bei einer Targetbewegung nach oben als bei einer Targetbewegung nach unten.

Zweitens wurde bei den Erwachsenen wie bei Nagai et al. (2002) die Position von Bildschirm und Körper variiert: Bei vertikalem Bildschirm und aufrechter Körperposition waren die vertikale Bewegungsrichtung des Targets und die vertikale Körperachse der Versuchsperson in einer Linie mit der Gravitationsrichtung. Bei horizontaler Bildschirm- und Körperposition war die Gravitationsrichtung orthogonal zur Bewegungsrichtung des Targets und der vertikalen Körperachse. Erwartet wurde ein Einfluss der Bildschirm- und Körperposition auf den Lokalisationsfehler in Richtung der Gravitationskraft. Bei vertikalem Bildschirm sollte die Gravitationskraft den Lokalisationsfehler bei sich nach unten bewegendem Targets vergrössern und bei sich nach oben bewegendem Targets verkleinern. Bei horizontalem Körper und Bildschirm sollte die Gravitationskraft keinen Unterschied zwischen den beiden vertikalen Bewegungsrichtungen des Targets verursachen. Dies war nicht der Fall. Bei vertikaler Durchführung zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden vertikalen Bewegungsrichtungen. Der Lokalisationsfehler war in beiden Bewegungsrichtungen gleich Null. Bei Durchführung in horizontaler Körperposition war der Lokalisationsfehler grösser bei einer vertikalen Targetbewegung nach oben. Bei einer Targetbewegung nach unten war der Lokalisationsfehler wiederum nicht unterschiedlich von Null.

Drittens wurde bei den Erwachsenen die y-Abweichung der horizontalen Targetbewegung bei vertikalem Bildschirm mit derjenigen bei horizontalem Bildschirm verglichen, wobei sich bei aufrecht gestelltem Bildschirm eine Abweichung in negativer y-Richtung - also nach unten - zeigte, bei horizontal gestelltem Bildschirm war dies nicht der Fall. Dies stimmt mit den Befunden von Hubbard

und Bharucha (1988) überein und bestätigt auch den von Nagai et al. (2002) gefundenen Einfluss von Körper- und Bildschirmposition. Dieser letzte Befund deutet darauf hin, dass die eigene vertikale Körperachse nicht mit der Richtung der Gravitationskraft gleichgesetzt wird, sondern diese beiden Achsen getrennt voneinander gesehen werden. Die Abweichung in y-Richtung war auch bei den siebenjährigen Kindern nach unten, also in Richtung der Gravitationskraft gerichtet. Bei den zehnjährigen Kindern unterschieden sich die Lokalisationsfehler nur bei der kleinsten Targetgeschwindigkeit von Null, allerdings entgegen der Gravitationskraft nach oben.

Mögliche Gründe für die gefundenen Resultate werden im Diskussionsteil (Kapitel 2.11.2, Seite 147) am Ende dieses Kapitels diskutiert.

### **2.3 Experiment 1.2 - Durchführung von Experiment 1.1 mit Finger**

In Experiment 1.1 sollte die letzte Position eines sich bewegenden Targets mit der Spitze eines Plastikstiftes auf dem Bildschirm angezeigt werden. Der Plastikstift wurde gewählt, um die Fehlervarianz, die bei der Lokalisation mit einem Finger entsteht (Berührungsfläche des Fingers auf dem Bildschirm  $> 1.0 \text{ cm}^2$ ) zu verkleinern (Spitze des Plastikstiftes  $< 1.0 \text{ mm}^2$ ). Ashida (2004) benutzte ebenfalls einen Plastikstift mit einer Spitze aus Gummi, während Kerzel und Gegenfurtner (2003) die letzte Position mit dem Zeigefinger anzeigen liessen. In Experiment 1.2 sollte getestet werden, ob die Durchführung der Lokalisationsaufgabe aus Experiment 1.1 mit dem Zeigefinger zu unterschiedlichen Resultaten führt als bei einer Durchführung mit einem Plastikstift.

#### **2.3.1 Methode**

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer waren 10 erwachsene Versuchspersonen (4 Frauen und 6 Männer, Durchschnittsalter: 26;8, Altersbereich: 21;9 bis 33;0). Alle Versuchspersonen berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen). Eine Versuchsperson war linkshändig, neun waren rechtshändig.

**Versuchsaufbau.** Der Versuchsaufbau dieses Kontrollexperimentes war identisch mit dem Versuchsaufbau von Experiment 1.1.

**Prozedur.** Die Aufgabe der Versuchspersonen unterschied sich nur in einem Punkt von derjenigen in Experiment 1.1: Die Versuchspersonen sollten nicht mit der Spitze eines Plastikstiftes die erinnerte letzte Position des Targets auf dem Bildschirm anzeigen, sondern mit dem Zeigefinger ihrer rechten Hand (siehe Abbildung 19).

### 2.3.2 Resultate

**Lokalisationsfehler.** Mit den erhaltenen Werten der Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Messwiederholung, Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit sowie den Zwischensubjektfaktoren Geschlecht und Händigkeit der Versuchspersonen.

Die Ergebnisse von Experiment 1.2 sind in Abbildung 20 dargestellt. Die Daten aus dem ersten Block unterscheiden sich nicht von den Daten aus dem zweiten Block ( $F < 1, p = .47, \eta^2 = .08$ ). Das Geschlecht der Versuchspersonen hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 7) = 4.79, p = .07, \eta^2 = .41$ ), tendenziell war der Lokalisationsfehler bei Frauen grösser als bei Männern. Die Händigkeit der Versuchspersonen hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 7) = 3.36, p = .11, \eta^2 = .32$ ). Diese

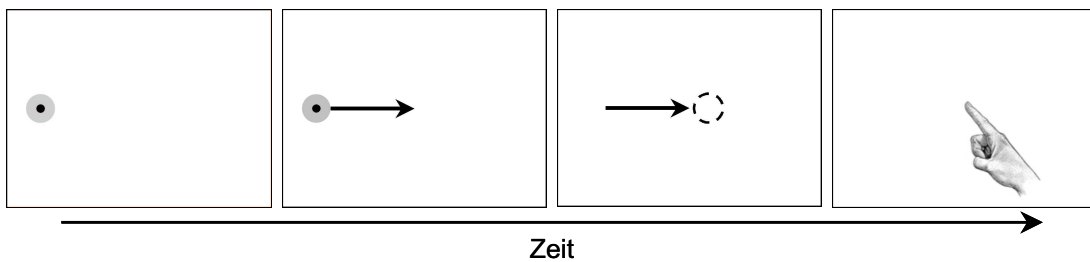


Abbildung 19: Schematische Illustration des Versuchsablaufs der Experimentaldurchgänge von Experiment 1.2: Das kreisförmige Target startet nach 0.5s, bewegt sich horizontal (oder vertikal) und verschwindet. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, die letzte Position des Targets mit dem Zeigefinger der rechten oder der linken Hand direkt auf dem Bildschirm anzuzeigen

Faktoren wurden nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Mit den über die Messwiederholung gemittelten Daten wurde eine Varianzanalyse mit den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit gerechnet. Die Bewegungsrichtung hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(3, 27) = 18.07, p < .001, \eta^2 = .67$ ). Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 18) = 6.56, p < .01, \eta^2 = .42$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Ebenso hatte die Interaktion von Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(6, 84) = 3.24, p < .01, \eta^2 = .27$ ). Der Lokalisationsfehler war bei horizontaler Targetbewegung grösser als bei vertikaler Targetbewegung ( $F(1, 8) = 72.02, p < .001, \eta^2 = .89$ ). Bei horizontaler Targetbewegung war der Lokalisationsfehler grösser bei einer Targetbewegung von links nach rechts als bei einer Targetbewegung von rechts nach links ( $F(1, 8) = 15.61, p < .01, \eta^2 = .63$ ). Bei vertikaler Targetbewegung veränderte sich der Lokalisationsfehler weder in Abhängigkeit der Bewegungsrichtung des Targets ( $F < 1, p = .47, \eta^2 = .06$ ), noch in Abhängigkeit der Targetgeschwindigkeit ( $F < 1, p = .46, \eta^2 = .08$ ). Weder bei einer Bewegungsrichtung des Targets nach oben noch bei einer Bewegungsrichtung des Targets nach unten unterschied sich der Lokalisationsfehler signifikant von Null (Targetbewegung nach oben: 4.0 cm/s:  $M = 1.79$  Pixel,  $SD = 10.73$  Pixel,  $t(9) = .53, p = .61$  (2-seitig),  $d = .35$ ; 8.0 cm/s:  $M = 3.54$  Pixel,  $SD = 9.36$  Pixel,  $t(9) = 1.20, p = .26$  (2-seitig),  $d = .80$ ; 12.0 cm/s:  $M = .77$  Pixel,  $SD = 13.87$  Pixel,  $t(9) = .18, p = .86$  (2-seitig),  $d = .12$ ; Targetbewegung nach unten: 4.0 cm/s:  $M = -2.93$  Pixel,  $SD = 9.36$  Pixel,  $t(9) = -.99, p = .35$  (2-seitig),  $d = -.66$ ; 8.0 cm/s:  $M = -.43$  Pixel,  $SD = 11.69$  Pixel,  $t(9) = -.12, p = .91$  (2-seitig),  $d = -.08$ ; 12.0 cm/s:  $M = -1.81$  Pixel,  $SD = 12.17$  Pixel,  $t(9) = -.47, p = .65$  (2-seitig),  $d = -.31$ ). Auch die Interaktion der beiden Faktoren hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .81, \eta^2 = .02$ ).

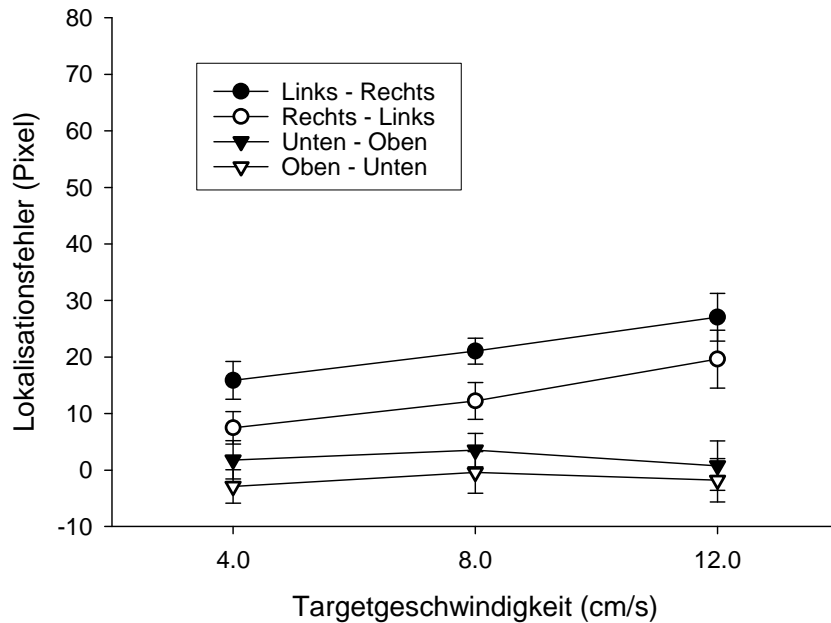


Abbildung 20: Resultate der Lokalisationsfehler von Experiment 1.2. Über die vier Bewegungsrichtungen gemittelte Lokalisationsfehler bei einer Durchführung der Aufgabe mit dem Zeigefinger. Positive Werte stehen für einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

**Vergleich der Lokalisationsfehler von Experiment 1.2 und Experiment 1.1.** Um die Daten mit denjenigen der erwachsenen Versuchspersonen aus Experiment 1.1 zu vergleichen wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung des Targets und Geschwindigkeit des Targets, sowie dem Zwischensubjektfaktor Experiment. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Experimenten ( $F < 1, p = .90, \eta^2 = .001$ ). Der Zwischensubjektfaktor Experiment interagiert mit keinem weiteren Innersubjektfaktor (Experiment x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .46, \eta^2 = .04$ , Experiment x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .96, \eta^2 = .00$ , Experiment x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(6, 144) = 1.03, p = .41, \eta^2 = .04$ ).

**Reaktionszeiten.** Die Reaktionszeiten wurden in gleicher Weise ausgewertet wie die Lokalisationsfehler. Die Faktoren Geschlecht ( $F < 1, p = .68, \eta^2 = .03$ ) und Händigkeit der Versuchspersonen ( $F < 1, p = .81, \eta^2 = .01$ ) waren jeweils

nicht signifikant. Die Reaktionszeiten der Versuchspersonen im ersten Block des Experimentes unterschieden sich nicht von den Reaktionszeiten im zweiten Block des Experimentes ( $F < 1, p = .55, \eta^2 = .04$ ). Diese drei Faktoren wurden nicht in die weitere Auswertung miteinbezogen.

Der Faktor Bewegungsrichtung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ( $F(3, 27) = 1.16, p = .34, \eta^2 = .11$ ). Die Reaktionszeiten änderten sich in Abhängigkeit der Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 18) = 4.97, p < .05, \eta^2 = .36$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war die Reaktionszeit. Die Interaktion der beiden Faktoren war ebenfalls signifikant ( $F(6, 54) = 2.32, p < .05, \eta^2 = .21$ ). Der Anstieg der Reaktionszeiten mit der Targetgeschwindigkeit war nicht linear.

Auch hier wurden die Daten dieses Experimentes mit den Daten von Experiment 1.1 verglichen. Es zeigte sich kein genereller Unterschied in den Reaktionszeiten zwischen den beiden Experimenten ( $F(1, 24) = 1.38, p = .25, \eta^2 = .05$ ). Es zeigte sich auch keine signifikante Interaktion mit dem Zwischen-subjektfaktor Experiment in den Daten (Experiment x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .81, \eta^2 = .01$ , Experiment x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .48, \eta^2 = .03$ , Experiment x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(6, 144) = 1.42, p = .21, \eta^2 = .06$ ).

### 2.3.3 Diskussion

Bei einer Durchführung der Lokisationsaufgabe mit dem Zeigefinger der rechten Hand konnten die Daten von Experiment 1.1 im Wesentlichen repliziert werden. Es zeigte sich bei horizontaler Targetbewegung ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, der grösser wurde, je schneller sich das Target bewegte. Bei vertikaler Targetbewegung zeigte sich unabhängig von der Bewegungsrichtung kein Lokalisationsfehler. Der einzige Unterschied zu Experiment 1.1 bestand darin, dass die Richtung des Targets einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler hatte. Bei einer Targetbewegung nach rechts war der Lokalisationsfehler grösser als bei einer Targetbewegung nach links. Die Reaktionszeiten dieses Experimentes unterschieden sich nicht von denjenigen aus Experiment 1.1.

Gründe für diese Asymmetrie der Bewegungsrichtung könnten einerseits in der Lese-Schreibrichtung der westlichen Welt liegen. Wir werden jeden Tag mit einer Gerichtetheit von links nach rechts konfrontiert. Dieser Unterschied könnte aber auch durch eine motorische Grundlage verursacht werden. Die Versuchspersonen sassen frontal vor dem Bildschirm und benutzten ihren rechten Arm zur Durchführung der Aufgabe. Möglicherweise könnte der Unterschied darin seinen Ursprung haben.

Laterale Unterschiede wurden schon früher in Untersuchungen zum Representational Momentum gefunden (Halpern & Kelly, 1993), allerdings nicht in allen (Hubbard & Bharucha, 1988). Aber auch in weiteren Bereichen wird eine Bewegung von links nach rechts anders wahrgenommen als eine Bewegung von rechts nach links. Gemälde und Bilder, in denen eine Bewegung von links nach rechts dargestellt ist, werden zum Beispiel bevorzugt gegenüber Bildern, in welchen eine Bewegung in umgekehrter Richtung dargestellt ist (Freimuth & Wapner, 1979; Mead & McLaughlin, 1991, April (zitiert in Halpern & Kelly, 1993); Mead & McLaughlin, 1993). Dies ist allerdings nur in Kulturen der Fall die eine Lese- und Schreibrichtung von links nach rechts haben. In Kulturen, in denen die Lese- und Schreibrichtung von rechts nach links verläuft, werden Bilder bevorzugt, die eine Bewegung von rechts nach links darstellen (Chokron & De Agostini, 2000). Weiter werden Titel, in denen das erste Wort sich auf Objekte auf der linken Seite bezieht, bevorzugt gegenüber Titeln, deren erstes Wort sich auf die rechte Seite bezieht (Nelson & MacDonald, 1971). Ausserdem werden Objekte, die sich nach rechts bewegen, als beschleunigt wahrgenommen. Objekte, die sich nach links bewegen, werden als abgebremst wahrgenommen (Gaffron, 1950; Hansen, 1978 (zitiert in Halpern & Kelly, 1993)). Wenn also eine Bewegung in eine Richtung schneller wahrgenommen würde, könnte das auch zu einem grösseren Lokalisationsfehler in diese Richtung führen. Möglichen Ursachen für diese laterale Asymmetrie soll in Experiment 1.3 und den folgenden nachgegangen werden.



## 2.4 Experiment 1.3 - Einfluss der benutzten Hand auf die Richtungseffekte

Experiment 1.3 hatte drei Ziele: Erstens sollte getestet werden, ob sich die in Experiment 1.2 gefundene laterale Asymmetrie auch bei Kindern finden lässt, speziell bei Kindern, die noch nicht lesen können. Zweitens sollte geprüft werden, ob sich die laterale Asymmetrie auch bei einer Durchführung mit der linken Hand zeigt, womit getestet werden kann, ob der Lokalisationsfehler durch die Leserichtung, die Schreibrichtung oder durch eine motorische Grundlage verursacht wird. Ist der Lokalisationsfehler bei einer Targetbewegung nach rechts sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand grösser, würde das eher für einen Einfluss der Leserichtung sprechen. Wenn der Lokalisationsfehler mit der rechten Hand grösser ist, wenn sich das Target nach rechts bewegt, es mit der linken Hand aber keinen Unterschied gibt, würde das für einen Einfluss der Schreibrichtung sprechen. Wenn schliesslich der Lokalisationsfehler mit der rechten Hand grösser ist, wenn sich das Target nach rechts bewegt und mit der linken Hand grösser ist, wenn sich das Target nach links bewegt, wäre wohl die motorische Durchführung der Aufgabe die Ursache. Drittens soll überprüft werden, ob der Lokalisationsfehler sich weiter vergrössert, wenn noch jüngere Kinder als in Experiment 1.1 getestet werden.

Weil sich in den Experimenten 1.1 und 1.2 bei einer vertikalen Targetbewegung keine oder nur unsystematische Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung zeigten, wurden in diesem Experiment nur horizontale Targetbewegungen präsentiert. Zusätzlich wurde die Augendominanz der Versuchspersonen erhoben, um einen möglichen Einfluss diesbezüglich zu überprüfen.

### 2.4.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses zweiten Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (5 Frauen und 5 Männer, Durchschnittsalter: 23;11, Altersbereich: 22;0 bis 25;1), 13 Kinder der vierten Klasse (6 Mädchen und 7 Jungen, Durchschnittsalter: 10;1, Altersbereich: 8;10 bis 10;9), 13 Kinder der ersten Klasse (7 Mädchen und 7 Jungen, Durchschnittsalter: 7;0,

Altersbereich: 6;4 bis 7;9) und 14 Kindergartenkinder (4 Mädchen und 10 Jungen, Durchschnittsalter: 5;5, Altersbereich: 4;7 bis 6;9). Alle Versuchspersonen berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen). Die erwachsenen Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich. Die Kinder stammten aus zwei Schulklassen und einem Kindergarten in der Stadt Zürich.

**Versuchsaufbau.** Der benutzte Versuchsaufbau war dem aus Experiment 1.1 sehr ähnlich. Das Target bewegte sich in dieser Bedingung nur horizontal, entweder von links nach rechts oder umgekehrt.

**Prozedur.** Die Versuchspersonen führten wie in Experiment 1.1 20 statische und 10 bewegte Einführungsdurchgänge durch. Auf diese folgten 36 Experimentaldurchgänge (2 Richtungen x 3 Targetgeschwindigkeiten x 3 Verschwindpunkte x 2 Messwiederholungen). Die Durchgänge wurden in zwei Blöcken à 18 Durchgänge dargeboten, die Reihenfolge pro Block war nach dem Zufallsprinzip variiert. Der ganze Ablauf wurde zweimal durchgeführt, einmal mit dem Zeigefinger der linken Hand, einmal mit dem Zeigefinger der rechten Hand. Die Reihenfolge der zu benutzenden Hand war ausbalanciert (für eine schematische Darstellung der Experimentaldurchgänge siehe Abbildung 19, Seite 88).

## 2.4.2 Resultate

**Lokalisationsfehler.** Mit den Daten der korrigierten Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Messwiederholung, Benutzte Hand, Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit sowie den Zwischensubjektfaktoren Altersgruppe, Händigkeit, Augendominanz und Geschlecht. Ein Vergleich der Daten der vier Altersgruppen ist in Abbildung 21 dargestellt.

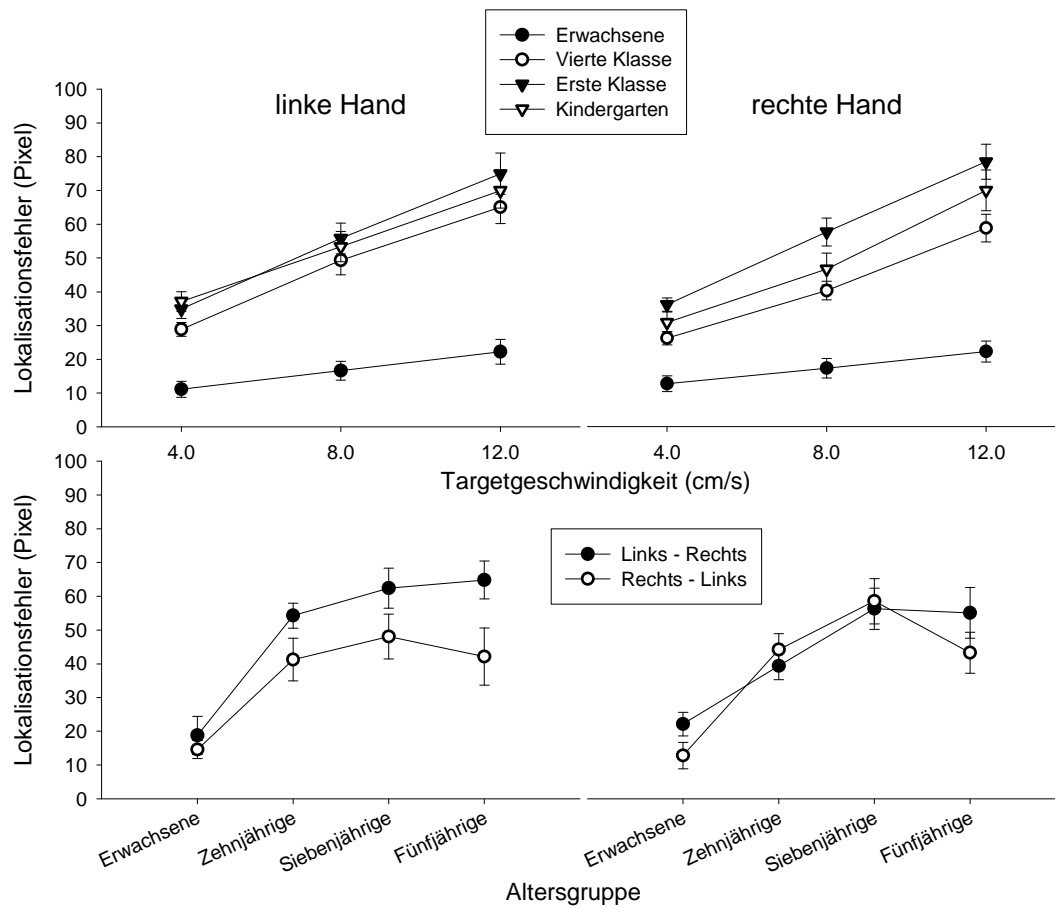


Abbildung 21: Resultate der Lokalisationsfehler von Experiment 1.3. Oben: Über die zwei horizontalen Bewegungsrichtungen gemittelte Lokalisationsfehler der vier Altersklassen und die rechte benutzte Hand im Vergleich. Unten: Die über die Targetgeschwindigkeit gemittelten Lokalisationsfehler dargestellt nach Altersgruppe und Targetbewegung. Positive Werte stehen für einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

Die Messwiederholung hatte keine signifikante Veränderung des Lokalisationsfehlers zur Folge ( $F(1, 32) = 1.16, p = .29, \eta^2 = .04$ ), die benutzte Hand hatte über alle Bedingungen und Altersgruppen gesehen keinen signifikanten Effekt auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 32) = 2.23, p = .15, \eta^2 = .07$ ). Die Bewegungsrichtung hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 32) = 5.32, p < .05, \eta^2 = .14$ ). Bei Targetbewegung von links nach rechts war der Lokalisationsfehler grösser als bei Targetbewegung von rechts nach links. Die Targetgeschwindigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(2, 46) = 107.54, p < .001, \eta^2 = .77$ ). Je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler. Die Zwischensubjektfaktoren Geschlecht ( $F < 1, p = .38, \eta^2 = .02$ ), Händigkeit ( $F < 1, p = .48, \eta^2 = .02$ ) und Augendominanz ( $F < 1, p = .62, \eta^2 = .01$ ) waren jeweils nicht signifikant, hatten also keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler. Die Grösse des Lokalisationsfehlers veränderte sich mit dem Alter ( $F(3, 32) = 22.26, p < .001, \eta^2 = .68$ ), je älter die Versuchspersonen waren, desto kleiner war der produzierte Lokalisationsfehler.

Für die einzelnen Altersgruppen wurde jeweils eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Benutzte Hand, Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit.

**Erwachsene.** Die benutzte Hand führte bei den Erwachsenen nicht zu unterschiedlichen Lokalisationsfehlern ( $F < 1, p = .54, \eta^2 = .04$ ), generell zeigte sich kein Unterschied ob die Aufgabe mit der rechten oder der linken Hand durchgeführt wurde.

Die Bewegungsrichtung hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 9) = 11.43, p < .01, \eta^2 = .56$ ), Targetbewegung von links nach rechts führte zu einem grösseren Lokalisationsfehler als Targetbewegung von rechts nach links. Dies war allerdings nur der Fall bei einer Durchführung mit der rechten Hand ( $F(1, 9) = 29.05, p < .001, \eta^2 = .76$ ), nicht aber bei einer Durchführung mit der linken Hand ( $F(1, 9) = 1.06, p = .33, \eta^2 = .11$ ).

Die Targetgeschwindigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokali-

sationsfehler ( $F(2, 18) = 22.35, p < .001, \eta^2 = .71$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler. Dieser Effekt zeigte sich sowohl bei einer Durchführung mit der rechten Hand ( $F(2, 18) = 12.85, p < .001, \eta^2 = .59$ ) als auch bei einer Durchführung mit der linken Hand ( $F(2, 18) = 20.24, p < .001, \eta^2 = .69$ ).

Keine der Interaktionen der drei Faktoren hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler (Benutzte Hand x Bewegungsrichtung:  $F(1, 9) = 1.12, p = .32, \eta^2 = .11$ , Benutzte Hand x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .76, \eta^2 = .03$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 18) = 1.82, p = .19, \eta^2 = .17$ , Benutzte Hand x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .83, \eta^2 = .02$ ).

**Kinder der vierten Klasse.** Die zehn Jahre alten Kinder zeigten unterschiedliche grosse Lokalisationsfehler, je nachdem mit welcher Hand sie die Aufgabe durchführten ( $F(1, 12) = 4.85, p < .05, \eta^2 = .29$ ), bei der Durchführung der Aufgabe mit der linken Hand war der Lokalisationsfehler grösser als bei der Durchführung der Aufgabe mit der rechten Hand.

Die Bewegungsrichtung hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .38, \eta^2 = .07$ ). Dies galt allerdings nur für die Durchführung mit der rechten Hand ( $F < 1, p = .40, \eta^2 = .06$ ). Bei einer Durchführung mit der linken Hand war der Lokalisationsfehler grösser bei einer Targetbewegung nach rechts als bei einer Targetbewegung nach links ( $F(1, 12) = 5.96, p < .05, \eta^2 = .33$ ).

Unterschiedliche Targetgeschwindigkeiten führten zu verschieden grossen Lokalisationsfehlern ( $F(2, 24) = 92.46, p < .000, \eta^2 = .89$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, dies war sowohl für die rechte Hand ( $F(2, 24) = 41.54, p < .001, \eta^2 = .78$ ) als auch für die linke Hand ( $F(2, 24) = 65.60, p < .001, \eta^2 = .85$ ) der Fall.

Die Interaktion Benutzte Hand x Bewegungsrichtung hatte einen signifikanten Einfluss ( $F(1, 12) = 8.62, p < .05, \eta^2 = .42$ ), der Lokalisationsfehler war bei Durchführung mit der linken Hand nur grösser bei einer Bewegungsrichtung

des Targets von links nach rechts ( $t(12) = -3.916, p < .01$  (2-seitig),  $d = -2.26$ ). Bei der Bewegungsrichtung von rechts nach links, ergab sich kein Unterschied im Lokalisationsfehler abhängig von der benutzten Hand ( $t(12) = .68, p = .51$  (2-seitig),  $d = .39$ ). Die weiteren Interaktionen hatten keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler (Benutzte Hand x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 24) = 1.01, p = .38, \eta^2 = .08$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .61, \eta^2 = .04$ , Benutzte Hand x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .45, \eta^2 = .06$ ).

**Kinder der ersten Klasse.** Die sieben Jahre alten Kinder der ersten Klasse zeigten keine unterschiedlichen Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der benutzten Hand ( $F < 1, p = .52, \eta^2 = .03$ ).

Die Bewegungsrichtung führte ebenfalls zu keinem Unterschied im Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .39, \eta^2 = .06$ ), weder bei einer Durchführung mit der rechten Hand ( $F < 1, p = .80, \eta^2 = .01$ ) noch bei einer Durchführung mit der linken Hand ( $F(1, 13) = 4.14, p = .06, \eta^2 = .24$ ). Bei der Durchführung mit der linken Hand war der Lokalisationsfehler tendenziell grösser bei einer Targetbewegung nach rechts als bei einer Targetbewegung nach links.

Die Targetgeschwindigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(2, 26) = 88.35, p < .001, \eta^2 = .87$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Dies war bei beiden Händen der Fall (rechte Hand:  $F(2, 26) = 80.54, p < .001, \eta^2 = .86$ , linke Hand:  $F(2, 26) = 35.98, p < .001, \eta^2 = .74$ ).

Tendenziell zeigte sich ein Einfluss der Interaktion zwischen benutzter Hand und Bewegungsrichtung ( $F(1, 13) = 4.24, p = .06, \eta^2 = .25$ ). Der Lokalisationsfehler bei einer Bewegungsrichtung von links nach rechts unterschied sich bei einer Durchführung mit der linken Hand nicht von dem Lokalisationsfehler bei einer Durchführung mit der rechten Hand ( $t(13) = -1.18, p = .26$  (2-seitig),  $d = -.65$ ). Dagegen war bei einer Bewegungsrichtung des Targets von rechts nach links der Lokalisationsfehler tendenziell grösser bei der Durchführung mit der rechten Hand als bei einer Durchführung mit der linken Hand ( $t(13) = 1.99, p = .07$  (2-seitig),

$d = 1.10$ ). Die weiteren Interaktionen der drei Faktoren hatten jeweils keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler (Benutzte Hand x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .91, \eta^2 = .01$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .93, \eta^2 = .01$ , Benutzte Hand x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .81, \eta^2 = .02$ ).

**Kindergartenkinder.** Die Lokalisationsfehler der fünf Jahre alten Kindergartenkinder unterschieden sich bei der Durchführung mit der rechten Hand nicht von der Durchführung mit der linken Hand ( $F(1, 13) = 1.30, p = .28, \eta^2 = .09$ ).

Sie zeigten die Tendenz zu einem grösseren Lokalisationsfehler bei der Bewegungsrichtung von links nach rechts, als bei einer Bewegungsrichtung von rechts nach links ( $F(1, 13) = 4.39, p = .06, \eta^2 = .25$ ). Diese Tendenz basiert allerdings nur auf den Daten der linken Hand ( $F(1, 13) = 4.54, p = .05, \eta^2 = .26$ ), bei Durchführung mit der rechten Hand zeigte sich keine Unterscheidung der Bewegungsrichtung ( $F(1, 13) = 1.70, p = .21, \eta^2 = .12$ ).

Die Targetgeschwindigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf den produzierten Lokalisationsfehler ( $F(2, 26) = 74.12, p < .001, \eta^2 = .85$ ). Das war bei einer Durchführung mit der rechten Hand ( $F(2, 26) = 54.51, p < .001, \eta^2 = .81$ ) und mit der linken Hand ( $F(2, 26) = 28.46, p < .001, \eta^2 = .69$ ) der Fall.

Die beiden Interaktionen Benutzte Hand x Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .34, \eta^2 = .07$ ) und Benutzte Hand x Targetgeschwindigkeit ( $F < 1, p = .42, \eta^2 = .07$ ) waren jeweils nicht signifikant. Die Interaktion Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(2, 26) = 3.52, p < .05, \eta^2 = .21$ ), der Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen den drei Targetgeschwindigkeiten war bei einer Bewegung von links nach rechts grösser als bei einer Bewegung von rechts nach links. Die Interaktion Benutzte Hand x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(2, 26) = 1.51, p = .24, \eta^2 = .10$ ).

**Reaktionszeit.** Die Reaktionszeiten wurden in gleicher Weise ausgewertet wie die Lokalisationsfehler. Keiner der Zwischensubjektfaktoren wirkte sich signifikant auf die Reaktionszeiten aus (Geschlecht der Versuchspersonen:  $F(1, 32) = 1.65, p = .21, \eta^2 = .05$ , Alter der Versuchspersonen:  $F(1, 32) = 1.27, p = .30, \eta^2 = .11$ , Augendominanz:  $F < 1, p = .83, \eta^2 = .00$  und Händigkeit:  $F < 1, p = .33, \eta^2 = .03$ ).

**Erwachsene.** Bei den erwachsenen Versuchspersonen wirkte sich keiner der Faktoren signifikant auf die Reaktionszeit aus (Benutzte Hand:  $F < 1, p = .37, \eta^2 = .09$ , Bewegungsrichtung:  $F(1, 9) = 2.25, p = .17, \eta^2 = .20$ , Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 18) = 1.72, p = .21, \eta^2 = .16$ ). Auch die Interaktionen der Faktoren untereinander hatten keinen Einfluss auf die Reaktionszeiten (Benutzte Hand x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .50, \eta^2 = .05$ , Benutzte Hand x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 18) = 1.89, p = .18, \eta^2 = .17$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 18) = 2.22, p = .14, \eta^2 = .20$ , Benutzte Hand x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 18) = 1.52, p = .25, \eta^2 = .15$ ).

**Kinder der vierten Klasse.** Die Reaktionszeit der zehnjährigen Kinder war länger bei der Durchführung der Aufgabe mit der linken Hand als bei Durchführung der Aufgabe mit der rechten Hand ( $F(1, 12) = 5.86, p < .05, \eta^2 = .33$ ). Ansonsten wirkte sich kein weiterer Faktor (Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .36, \eta^2 = .07$ , Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 24) = 1.17, p = .33, \eta^2 = .09$ ) und keine der Interaktionen der Faktoren signifikant auf die Reaktionszeit aus (Benutzte Hand x Bewegungsrichtung:  $F(1, 12) = 3.38, p = .09, \eta^2 = .22$ , Benutzte Hand x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = 1.00, \eta^2 = .00$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 24) = 1.36, p = .27, \eta^2 = .10$ , Benutzte Hand x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .98, \eta^2 = .00$ ).

**Kinder der ersten Klasse.** Die Reaktionszeiten der sieben Jahre alten Kinder unterschieden sich nur in Bezug auf die Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 26) = 4.24, p < .05, \eta^2 = .25$ ). Sie produzierten kürzere Reaktionszeiten bei einer



Targetgeschwindigkeit von 8.0 cm/s als bei einer Targetgeschwindigkeit von 4.0 cm/s ( $t(13) = 2.261, p < .05$  (2-seitig),  $d = 1.25$ ), und bei einer Targetgeschwindigkeit von 12.0 cm/s ( $t(13) = -3.05, p < .01$  (2-seitig),  $d = -1.69$ ). Die Targetgeschwindigkeiten 4.0 cm/s und 12.0 cm/s hatten keine unterschiedlichen Reaktionszeiten zur Folge ( $t(13) = 0.29, p = .77$  (2-seitig),  $d = .16$ ). Alle anderen Faktoren sowie die Interaktionen hatten keine signifikante Veränderung der Reaktionszeiten zur Folge (Benutzte Hand:  $F(1, 13) = 2.28, p = .16, \eta^2 = .15$ , Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .70, \eta^2 = .01$ , Benutzte Hand x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .76, \eta^2 = .01$ , Benutzte Hand x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .50, \eta^2 = .05$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .53, \eta^2 = .05$ , Benutzte Hand x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 26) = 1.75, p = .19, \eta^2 = .12$ ).

**Kindergartenkinder.** Die Kindergartenkinder zeigten keine unterschiedlichen Reaktionszeiten in Abhängigkeit der benutzten Hand ( $F < 1, p = .53, \eta^2 = .03$ ), der Bewegungsrichtung ( $F(1, 13) = 2.69, p = .13, \eta^2 = .17$ ) oder der Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 26) = 1.71, p = .20, \eta^2 = .12$ ). Es zeigte sich kein signifikanter Einfluss der Interaktion von benutzter Hand und Bewegungsrichtung auf die Reaktionszeit ( $F < 1, p = .69, \eta^2 = .01$ ). Die Reaktionszeit war allerdings unterschiedlich in Abhängigkeit der Interaktion von benutzter Hand und Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 26) = 5.09, p < .05, \eta^2 = .28$ ).

Ein t-Test zeigte, dass die Targetgeschwindigkeit bei Durchführung mit der rechten Hand keinen Einfluss auf die Reaktionszeit hatte (4.0 cm/s ( $M = 1.23$  s,  $SD = .17$  s) vs. 8.0 cm/s ( $M = 1.26$  s,  $SD = .20$  s):  $t(13) = -.71, p = .49$  (2-seitig),  $d = -.39$ ; 4.0 cm/s ( $M = 1.23$  s,  $SD = .17$  s) vs. 12.0 cm/s ( $M = 1.26$  s,  $SD = .22$  s):  $t(13) = -.56, p = .58$  (2-seitig),  $d = -.31$ ; 8.0 cm/s ( $M = 1.26$  s,  $SD = .20$  s) vs. 12.0 cm/s ( $M = 1.26$  s,  $SD = .22$  s):  $t(13) = .02, p = .98$  (2-seitig),  $d = -.54$ ), bei der Durchführung mit der linken Hand hingegen kam es zu unterschiedlichen Reaktionszeiten zwischen den Targetgeschwindigkeiten 4.0 cm/s ( $M = 1.36$  s,  $SD = .22$  s) und 8.0 cm/s ( $M = 1.21$  s,  $SD = .16$  s),  $t(13) = 3.68, p < .01$  (2-seitig),  $d = 2.04$ ), nicht aber zwischen 4.0 cm/s ( $M =$

1.36 s,  $SD = .22$  s) und 12.0 cm/s ( $M = 1.28$  s,  $SD = .24$  s),  $t(13) = 1.46, p = .17$  (2-seitig),  $d = .81$ ), und nicht zwischen 8.0 cm/s ( $M = 1.21$  s,  $SD = .16$  s) und 12.0 cm/s ( $M = 1.28$  s,  $SD = .24$  s):  $t(13) = -1.65, p = .12$  (2-seitig),  $d = -.91$ ). Die Reaktionszeit war bei Durchführung mit der linken Hand bei der langsamsten Targetgeschwindigkeit geringer als bei der mittleren Targetgeschwindigkeit, dies war bei einer Durchführung mit der rechten Hand nicht der Fall.

Die Interaktionen Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 26) = 1.09, p = .35, \eta^2 = .08$ ) und Benutzte Hand x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit ( $F < 1, p = .98, \eta^2 = .00$ ) waren nicht signifikant.

### 2.4.3 Diskussion

Aus den Ergebnissen von Experiment 1.3 geht hervor, dass die Versuchspersonen aller Altersgruppen einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung des Targets produzierten. Dieser Lokalisationsfehler war in allen Altersgruppen grösser, je schneller sich das Target bewegte, unabhängig von der benutzten Hand. Insgesamt wurde der Lokalisationsfehler kleiner, je älter die Versuchspersonen waren. Diese Veränderung der Lokalisationsfehler mit dem Alter kann (wie schon in Experiment 1.1) nicht auf unterschiedliche Reaktionszeiten der verschiedenen Altersgruppen zurückgeführt werden. Die Augendominanz hatte ebenfalls keinen Einfluss auf die Lokalisationsfehler.

Bei einer Durchführung mit der rechten Hand zeigte sich ein umgekehrt u-förmiger Entwicklungsverlauf: Die erwachsenen Versuchspersonen produzierten den kleinsten Lokalisationsfehler. Dieser war bei den fünf- und zehnjährigen Kindern etwas grösser und bei den siebenjährigen Kindern am grössten. Dieser umgekehrt u-förmige Entwicklungsverlauf zeigte sich eher bei einer Bewegungsrichtung des Targets von rechts nach links. Bei einer Bewegungsrichtung von links nach rechts unterschieden sich die Werte der siebenjährigen Kinder nicht von denen der fünfjährigen Kinder. Bei einer Durchführung mit der linken Hand zeigte sich der umgekehrt u-förmige Entwicklungsverlauf nicht. Der Lokalisationsfehler war am geringsten bei den Erwachsenen, die Lokalisationsfehler der fünf-, sieben- und zehnjährigen Kinder unterschieden sich nicht voneinander. Aus der

Abbildung 21 ist allerdings zu erkennen, dass es, ähnlich wie bei der Durchführung mit der rechten Hand, auch mit der linken Hand bei der Targetbewegung von rechts nach links eine leichte Tendenz einer umgekehrten u-Form gibt. Insgesamt steigt der Lokalisationsfehler ab einem Alter von sieben Jahren nicht mehr an, er wird mit der rechten Hand sogar wieder geringer.

Die Bewegungsrichtung des Targets wurde von den verschiedenen Altersgruppen unterschiedlich berücksichtigt. Bei einer Targetbewegung nach rechts war der Lokalisationsfehler bei den erwachsenen Versuchspersonen grösser als bei einer Targetbewegung nach links. Dies war aber nur der Fall, wenn sie die rechte Hand benutzten. Bei einer Durchführung mit der linken Hand zeigte sich keine Unterscheidung der Bewegungsrichtung. Bei den Kindern war dies gerade umgekehrt: Sie unterschieden die Bewegungsrichtung nicht, wenn sie die Aufgabe mit der rechten Hand durchführten. Wenn sie aber die Aufgabe mit der linken Hand durchführten, war der Lokalisationsfehler für die jüngeren Kinder zumindest tendenziell grösser bei Targets, die sich nach rechts bewegten als bei Targets, die sich nach links bewegten.

Die Befunde von Experiment 1.3 zeigen kein eindeutiges Bild im Hinblick auf die zu Beginn gestellten Fragen. Eine rein motorische Grundlage der lateralen Asymmetrie kann auf Grund der Daten ausgeschlossen werden. Bei einer Durchführung mit der linken Hand war der Lokalisationsfehler vor allem bei den Kindern grösser wenn sich das Target nach rechts bewegte. Es scheint eher ein Einfluss der Schreib-Lese-Richtung für den Richtungsunterschied verantwortlich zu sein. Dabei können die Einflüsse von Lese- und Schreibrichtung nicht eindeutig auseinandergehalten werden. Der Unterschied bei den Erwachsenen, die eine Links-Rechts-Asymmetrie bei der Durchführung mit der rechten Hand zeigten, nicht aber bei der Durchführung mit der linken Hand, könnte zu dem Schluss führen, dass eine grössere Erfahrung im Schreiben mit der rechten Hand die Ursache für diesen Unterschied im Lokalisationsfehler ist. Dass aber bei den Kindern - genau umgekehrt - ein Unterschied zwischen den Bewegungsrichtungen bei einer Durchführung mit der linken Hand gefunden wurde, nicht aber bei einer Durchführung mit der rechten Hand lässt darauf schliessen, dass auch ein Einfluss

der Leserichtung nicht ausgeschlossen werden kann.

## 2.5 Experiment 1.4 - Durchführung mit rechter und linker Hand mit Stift

In Experiment 1.1 wurde die Lokalisationsaufgabe mit einem Plastikstift durchgeführt. Es zeigte sich bei horizontaler Targetbewegung kein Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen der Bewegungsrichtung nach rechts und nach links. In den Experimenten 1.2 und 1.3 wurde die Lokalisationsaufgabe mit dem Zeigefinger der rechten Hand oder linken Hand durchgeführt. Die Erwachsenen produzierten dabei einen grösseren Lokalisationsfehler bei einer Targetbewegung nach rechts als bei einer Targetbewegung nach links. Dies war allerdings nur bei einer Durchführung mit der rechten Hand der Fall. In Experiment 1.4 sollte daher getestet werden, ob die Bewegungsrichtung ebenfalls zu unterschiedlichen Lokalisationsfehlern bei horizontaler Targetbewegung führt, wenn die Lokalisationsaufgabe mit dem Plastikstift einmal mit der rechten und einmal mit der linken Hand durchgeführt wird. Die Durchführung mit dem Plastikstift könnte dabei weitere Hinweise zur Rolle der Schreibrichtung in diesem Phänomen liefern.

### 2.5.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer waren 10 Versuchspersonen (5 Frauen und 5 Männer, Durchschnittsalter: 24;8, Altersbereich: 20;11 bis 31;4). Alle Versuchspersonen berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen). Von den Versuchspersonen waren neun rechtshändig, eine war linkshändig; sechs berichteten von einer Dominanz des rechten Auges, vier von einer Dominanz des linken Auges.

**Versuchsaufbau.** Der Versuchsaufbau dieser Kontrollbedingung war identisch mit demjenigen aus Experiment 1.2: Das Target bewegte sich horizontal von links nach rechts oder von rechts nach links mit drei verschiedenen Geschwindigkeiten (4.0 cm/s, 8.0 cm/s und 12.0 cm/s).

**Prozedur.** Die Aufgabe bestand in diesem Experiment darin, die erinnerte letzte Position des Targets auf dem Bildschirm anzuzeigen. Dazu wurde wie in Experiment 1.1 der Plastikstift benutzt. Im Unterschied zu Experiment 1.1 wurde der Stift einmal mit der rechten Hand gehalten, einmal mit der linken Hand, die Reihenfolge der zu benutzenden Hand war ausbalanciert (für eine schematische Darstellung der Experimentaldurchgänge siehe Abbildung 10 auf Seite 66).

### 2.5.2 Resultate

Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler und den Reaktionszeiten wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Benutzte Hand, Messwiederholung, Bewegungsrichtung des Targets und Targetgeschwindigkeit sowie den Zwischensubjektfaktoren Geschlecht, Händigkeit und Augendominanz.

**Lokalisationsfehler.** Die Daten der Lokalisationsfehler sind in Abbildung 22 dargestellt. Das Geschlecht ( $F < 1, p = .61, \eta^2 = .06$ ), die Händigkeit ( $F < 1, p = .68, \eta^2 = .04$ ) und die Augendominanz ( $F(1, 5) = 2.25, p = .19, \eta^2 = .31$ ) hatten keinen signifikanten Effekt auf den Lokalisationsfehler. Tendenziell war der Lokalisationsfehler grösser bei Versuchspersonen mit einer Augendominanz des linken Auges als bei Versuchspersonen mit einer Augendominanz des rechten Auges. Der Lokalisationsfehler veränderte sich nicht vom ersten Teil zum zweiten Teil des Experimentes ( $F < 1, p = .49, \eta^2 = .10$ ). Diese Faktoren wurden nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Der Lokalisationsfehler veränderte sich nicht in Abhängigkeit der benutzten Hand ( $F < 1, p = .61, \eta^2 = .03$ ). Die Bewegungsrichtung des Targets führte ebenfalls nicht zu unterschiedlichen Lokalisationsfehlern ( $F(1, 9) = 1.18, p = .31, \eta^2 = .12$ ). Dies war sowohl bei der Durchführung der Lokalisationsaufgabe mit der rechten Hand ( $F < 1, p = .85, \eta^2 = .00$ ) als auch bei einer Durchführung mit der linken Hand ( $F(1, 9) = 2.71, p = .13, \eta^2 = .23(!)$ ) der Fall. Allerdings weist die hohe Effektstärke in den Daten der linken Hand auf einen grösseren Lokalisationsfehler bei einer Targetbewegung von links nach rechts hin. Es zeigte sich ein signi-

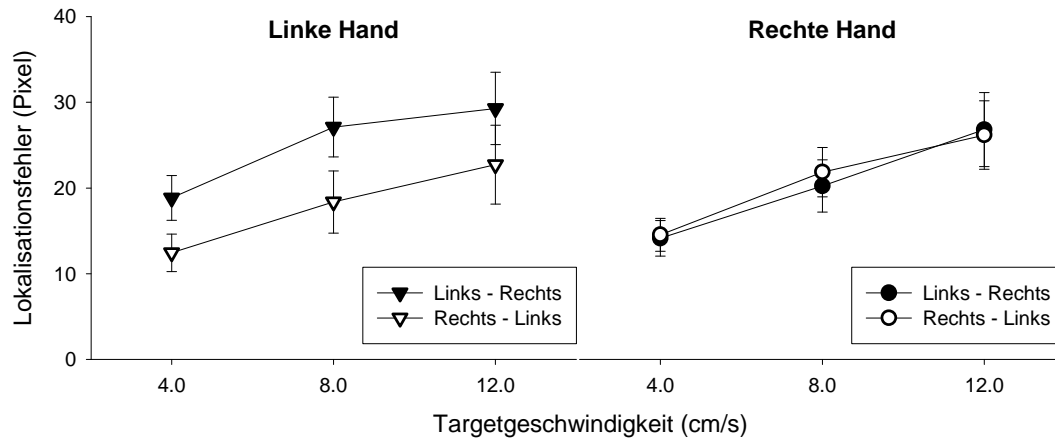


Abbildung 22: Resultate der Lokalisationsfehler von Experiment 1.4. Lokalisationsfehler bei Durchführung der Aufgabe mit der linken und der rechten Hand in Abhängigkeit der Bewegungsrichtung des Targets. Positive Werte stehen für einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

fikanter Effekt der Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 18) = 23.40, p < .001, \eta^2 = .72$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Dies war sowohl bei einer Durchführung mit der rechten Hand ( $F(2, 18) = 21.61, p < .001, \eta^2 = .71$ ) als auch bei einer Durchführung mit der linken Hand ( $F(2, 18) = 18.31, p < .001, \eta^2 = .67$ ). Die knapp nicht signifikante Interaktion zwischen benutzter Hand und Bewegungsrichtung ( $F(1, 9) = 5.00, p = .05, \eta^2 = .36$ ) mit hoher Effektstärke weist ebenfalls darauf hin, dass die Bewegungsrichtung je nach benutzter Hand zu unterschiedlichen Lokalisationsfehlern führte. Die weiteren Interaktionen waren nicht signifikant (Benutzte Hand x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 18) = 1.37, p = .28, \eta^2 = .13$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .94, \eta^2 = .01$ , Benutzte Hand x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 18) = 1.26, p = .31, \eta^2 = .12$ ). Getrennt nach benutzter Hand ausgewertet waren die Interaktionen von Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit nicht signifikant (rechte Hand:  $F < 1, p = .61, \eta^2 = .05$ , linke Hand:  $F < 1, p = .59, \eta^2 = .06$ ).

**Reaktionszeit.** Die erhaltenen Reaktionszeiten wurden in gleicher Weise ausgewertet wie die Lokalisationsfehler. Zusätzlich wurden sie mit den Reakti-

onszeiten der erwachsenen Versuchspersonen verglichen, die in Experiment 1.2 die Aufgabe mit dem Finger durchführten.

Die Reaktionszeiten unterschieden sich nicht in Abhängigkeit der benutzten Hand ( $F < 1, p = .95, \eta^2 = .00$ ), sie waren bei Durchführung der Aufgabe mit der rechten Hand vergleichbar mit den Reaktionszeiten bei Durchführung der Aufgabe mit der linken Hand. Die Daten aus der ersten Hälfte des Experimentes unterschieden sich nicht von den Daten aus der zweiten Hälfte des Experimentes ( $F < 1, p = .50, \eta^2 = .05$ ). Auch die Bewegungsrichtung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten der Versuchspersonen ( $F < 1, p = .68, \eta^2 = .02$ ). Die Reaktionszeiten änderten sich nicht in Abhängigkeit der Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 20) = 1.09, p = .36, \eta^2 = .10$ ). Die Reaktionszeiten bei Durchführung mit Stift (Experiment 1.4) unterschieden sich nicht von den Reaktionszeiten bei Durchführung mit dem Finger (Experiment 1.2,  $F(1, 10) = 1.84, p = .21, \eta^2 = .16$ ). Es spielte keine Rolle, ob das Experiment mit dem Zeigefinger oder mit einem Plastikstift durchgeführt wurde. Die Reaktionszeiten der Frauen lagen im Mittel unter denjenigen der Männer ( $F(1, 10) = 6.79, p < .05, \eta^2 = .40$ ). Die Augendominanz der Versuchspersonen hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ( $F < 1, p = .48, \eta^2 = .05$ ). Die Händigkeit wirkte sich signifikant aus ( $F(1, 10) = 13.64, p < .01, \eta^2 = .58$ ), allerdings waren nur zwei der Versuchspersonen linkshändig, der Effekt ist also mit Vorsicht zu betrachten.

Betrachtet man nur die Daten aus Experiment 1.4, hatte die benutzte Hand in dieser Bedingung keinen Einfluss auf die Reaktionszeiten ( $F < 1, p = .92, \eta^2 = .00$ ), ebensowenig die Bewegungsrichtung ( $F(1, 8) = 1.53, p = .25, \eta^2 = .16$ ) und die Targetgeschwindigkeit ( $F < 1, p = .34, \eta^2 = .04$ ). Das Geschlecht der Versuchspersonen hatte in der Tendenz einen Effekt auf die Reaktionszeiten ( $F(1, 8) = 3.50, p = .10, \eta^2 = .31$ ), weibliche Versuchspersonen zeigten tendenziell kürzere Reaktionszeiten als männliche Versuchspersonen.

### 2.5.3 Diskussion

Der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung und der Einfluss der Targetgeschwindigkeit wurden auch in dieser Bedingung gefunden, unabhängig davon,

mit welcher Hand die Aufgabe durchgeführt wurde.

Die Bewegungsrichtung des Targets hatte nur einen kleinen Effekt auf den Lokalisationsfehler. Bei der Durchführung der Aufgabe mit der rechten Hand war der Lokalisationsfehler wie in Experiment 1.1 nicht unterschiedlich in Abhängigkeit der beiden Bewegungsrichtungen des Targets. Bei der Durchführung mit der linken Hand bestand allerdings die Tendenz, bei einer Targetbewegung nach rechts einen grösseren Lokalisationsfehler zu machen als bei einer Targetbewegung nach links.

Die Reaktionszeiten hatten wie in allen bisherigen Experimenten keinen systematischen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers. Einzig weibliche Versuchspersonen hatten etwas höhere Reaktionszeiten als männliche. Das wirkte sich aber nicht auf die Grösse des Lokalisationsfehlers aus, der bei Frauen und Männern vergleichbar war.

Erstaunlicherweise zeigt sich der Unterschied in der Bewegungsrichtung nicht, wenn die Lokalisationsaufgabe mit einem Stift durchgeführt wird. Wenn die Schreiberfahrung einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler hätte, könnte man erwarten, dass durch die Benutzung eines Stiftes, wie er auch zum Schreiben verwendet wird, der in den Experimenten 1.2 und 1.3 gefundene grössere Lokalisationsfehler bei einer Targetbewegung nach rechts noch verstärkt wird. Das war aber in Experiment 1.4 nicht der Fall. Im Gegenteil, tendenziell wird der Lokalisationsfehler grösser beim Benutzen der linken Hand. Es könnte spekuliert werden, dass durch den häufigen Gebrauch eines Schreibwerkzeuges, mit dem jeweils sehr präzise Handlungen ausgeführt werden müssen, allfällige laterale Asymmetrien kompensiert werden.

## **2.6 Auswertung der statischen Einführungsdurchgänge**

Ein wichtiger Punkt beim Lokalisieren eines Targets und vor allem beim Vergleich dieser Daten über verschiedene Altersgruppen ist die Fähigkeit, ein Target auf dem Bildschirm genau lokalisieren zu können. Sollten sich bereits in einer statischen Lokalisationsaufgabe Unterschiede zwischen den Versuchspersonen der einzelnen Altersgruppen und den unterschiedlichen Bedingungen zeigen, könnten



die gefundenen Altersunterschiede auf einen Entwicklungsverlauf von ungenauer Lokalisation bei jüngeren Kindern hin zu einer genaueren Lokalisation bei älteren Kindern und Erwachsenen zurückgeführt werden. Um dies zu prüfen, wurden die Daten der statischen Einführungsdurchgänge der bisherigen Experimente ausgewertet, in denen das Target während 1.0s sichtbar war, sich nicht bewegte, und dann wieder ohne sich zu bewegen vom Bildschirm verschwand. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, nach Verschwinden des Targets dessen Position auf dem Bildschirm anzuzeigen. Es wurden die verschiedenen Altersgruppen und Experimentalbedingungen aus Experiment 1.1 und 1.3 miteinander verglichen.

### 2.6.1 Resultate der statischen Einführungsdurchgänge

**Vergleich der Altersgruppen aus Experiment 1.1.** Mit den Werten der Abweichung in x-Richtung (x-Abweichung), in y-Richtung (y-Abweichung) und dem Betrag der Abweichung (Fehlerbetrag) wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit dem Zwischensubjektfaktor Alter der Versuchspersonen. Die Ergebnisse der Auswertung der Einführungsdurchgänge sind in Abbildung 23 dargestellt. Es zeigte sich in der x-Abweichung kein Unterschied in den Altersgruppen ( $F < 1, p = .64, \eta^2 = .02$ ). In der y-Abweichung war der Lokalisationsfehler abhängig vom Alter ( $F(2, 45) = 4.06, p < .05, \eta^2 = .15$ ), ein Tukey(HSD) Post-Hoc-Test zeigte, dass die Lokalisationsfehler der siebenjährigen Kinder ( $M = -4.05$  Pixel,  $SD = 5.99$  Pixel) und der Erwachsenen ( $M = -1.38$  Pixel,  $SD = 2.12$  Pixel) in negativer y-Richtung waren, während die Lokalisationsfehler der zehnjährigen Kinder knapp null waren ( $M = -.23$  Pixel,  $SD = 3.85$  Pixel). Die y-Abweichung der Erwachsenen ( $t(15) = -2.59, p < .05$  (2-seitig),  $d = -1.34$ ) und der siebenjährigen Kinder ( $t(15) = -2.70, p < .05$  (2-seitig),  $d = -1.39$ ) war signifikant von Null verschieden, bei den zehnjährigen Kindern war dies nicht der Fall ( $t(15) = .24, p = .81$  (2-seitig),  $d = .12$ ). Der Fehlerbetrag war ebenfalls abhängig vom Alter der Versuchspersonen ( $F(2, 45) = 5.57, p < .01, \eta^2 = .20$ ), er nahm mit steigendem Alter ab (Siebenjährige Kinder:  $M = 7.44$  Pixel,  $SD = 4.88$  Pixel, zehnjährige Kinder:  $M = 5.19$  Pixel,  $SD = 2.70$  Pixel,

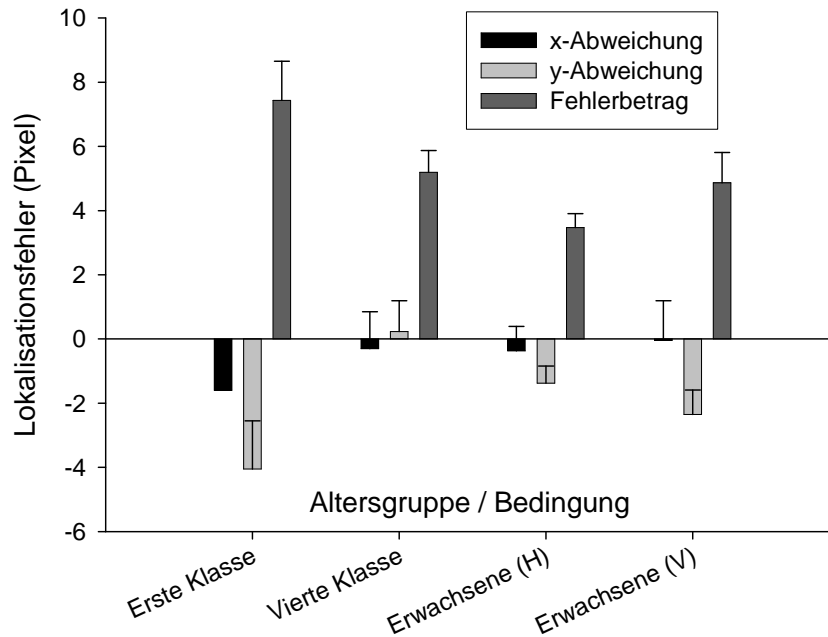


Abbildung 23: Ergebnisse der Auswertung der Einführungsdurchgänge aus Experiment 1.1. Die Werte der x-Abweichung, y-Abweichung und der Fehlerbetrag dargestellt für jede Altersgruppe und für die vertikale und horizontale Bedingung der erwachsenen Versuchspersonen. Positive Werte bei x- und y-Abweichung bedeuten eine Abweichung in die jeweilige positive Richtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

**Vergleich der vertikalen Bildschirmposition mit der horizontalen Bildschirmposition.** Die bei den Erwachsenen in Experiment 1.1 variierte Position des Bildschirmes hatte keinen signifikanten Einfluss auf die x-Abweichung ( $F < 1, p = .83, \eta^2 = .00$ ), die y-Abweichung ( $F(1, 30) = 1.11, p = .30, \eta^2 = .04$ ) und auf den Betrag der Abweichung ( $F(1, 30) = 1.77, p = .19, \eta^2 = .06$ ).

**Vergleich der Durchführung mit rechter und linker Hand über verschiedene Altersgruppen, Durchführung mit Finger.** Die Daten der Einführungsdurchgänge von Experiment 1.3 sind in Abbildung 24 dargestellt. In Experiment 1.3 hatten die benutzte Hand ( $F < 1, p = .59, \eta^2 = .01$ ), das Alter der Versuchspersonen ( $F(3, 47) = 2.19, p = .10, \eta^2 = .12$ ) und die Interaktion dieser beiden Faktoren ( $F(3, 47) = 1.91, p = .14, \eta^2 = .11$ ) keinen Effekt auf

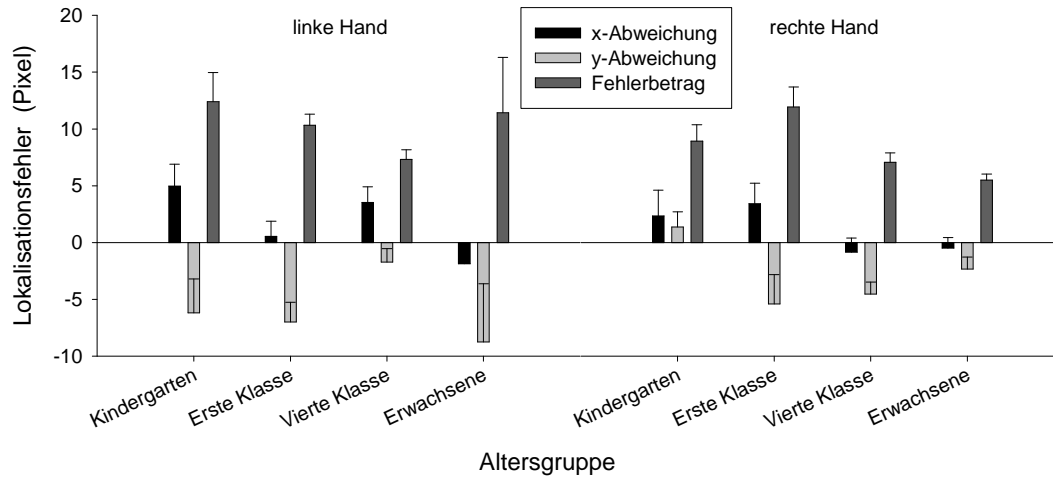


Abbildung 24: Ergebnisse der Auswertung der Einführungsdurchgänge aus Experiment 1.3. Die Werte der x-Abweichung, y-Abweichung und der Fehlerbetrag dargestellt für jede Altersgruppe für die rechte und die linke Hand. Positive Werte bei x- und y-Abweichung bedeuten eine Abweichung in die jeweilige positive Richtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

die x-Abweichung. Auf die y-Abweichung war ebenfalls weder der Einfluss der benutzten Hand ( $F(1,47) = 2.651, p = .11, \eta^2 = .05$ ), noch der des Alters der Versuchspersonen ( $F(3,47) = 1.01, p = .40, \eta^2 = .06$ ), noch der der Interaktion der beiden Faktoren ( $F(3,47) = 1.52, p = .22, \eta^2 = .09$ ) signifikant. Und auch der Betrag des Lokalisationsfehlers unterschied sich nicht in Abhängigkeit der benutzten Hand ( $F(1,47) = 1.48, p = .23, \eta^2 = .03$ ), des Alters der Versuchspersonen ( $F < 1, p = .27, \eta^2 = .08$ ) und der Interaktion dieser beiden Faktoren ( $F < 1, p = .41, \eta^2 = .06$ ).

Aufgeteilt nach den verschiedenen Altersgruppen zeigte sich in der x-Abweichung nur bei den zehnjährigen Kindern ein unterschiedlicher Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der benutzten Hand ( $F(1,12) = 5.01, p < .05, \eta^2 = .30$ ), der Lokalisationsfehler war bei der Durchführung mit der rechten Hand in negativer Richtung ( $M = -.84 \text{ Pixel}, SD = 4.93 \text{ Pixel}$ ) und bei der Durchführung mit der linken Hand in positiver Richtung ( $M = 3.53 \text{ Pixel}, SD = 5.49 \text{ Pixel}$ ). Die fünfjährigen Kinder ( $F < 1, p = .43, \eta^2 = .05$ ), die siebenjährigen Kinder ( $F(1,13) = 1.65, p = .22, \eta^2 = .11$ ) und die Erwachsenen ( $F < 1, p = .49, \eta^2 = .06$ ) zeigten keine Unterschiede in der x-Abweichung

in Abhängigkeit der benutzten Hand. Die y-Abweichung hatte nur bei den fünfjährigen Kindern unterschiedliche Resultate zur Folge, je nachdem welche Hand sie benutzten ( $F(1,13) = 4.89, p < .05, \eta^2 = .27$ ), bei der Durchführung mit der rechten Hand war der Lokalisationsfehler leicht in positiver y-Richtung, mit der linken Hand in negativer y-Richtung. Die Daten der siebenjährigen Kinder ( $F < 1, p = .57, \eta^2 = .03$ ), der zehnjährigen Kinder ( $F(1,12) = 2.113, p = .17, \eta^2 = .15$ ) und der Erwachsenen ( $F < 1, p = .41, \eta^2 = .08$ ) veränderten sich nicht in Abhängigkeit der benutzten Hand. Der Betrag der Abweichung veränderte sich bei allen Altersgruppen nicht in Abhängigkeit der benutzten Hand (fünfjährige Kinder:  $F(1,13) = 1.05, p = .32, \eta^2 = .08$ , siebenjährige Kinder:  $F < 1, p = .46, \eta^2 = .04$ , zehnjährige Kinder:  $F < 1, p = .83, \eta^2 = .00$ , Erwachsene:  $F < 1, p = .35, \eta^2 = .10$ ).

Bei einer getrennt nach benutzter Hand durchgeführten Auswertung ergaben sich die folgenden Resultate. Bei benutzter rechter Hand zeigte sich kein Effekt des Alters in der x-Abweichung ( $F(3,47) = 1.23, p = .31, \eta^2 = .07$ ). Tendenziell waren die Abweichungen in y-Richtung vom Alter der Versuchspersonen abhängig ( $F(3,47) = 2.79, p = .05, \eta^2 = .15$ ), die Lokalisationsfehler der fünfjährigen Kinder waren in positiver y-Richtung ( $M = 1.39$  Pixel,  $SD = 5.32$  Pixel), die der siebenjährigen Kinder am weitesten in negativer y-Richtung ( $M = -5.39$  Pixel,  $SD = 10.37$  Pixel), und die der zehnjährigen Kinder ( $M = -4.52$  Pixel,  $SD = 4.22$  Pixel) und der Erwachsenen ( $M = -2.33$  Pixel,  $SD = 4.25$  Pixel) etwas weniger in negativer y-Richtung. Ein Gabriel-Post-Hoc-Test ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen. Der Betrag des Fehlers war signifikant vom Alter abhängig ( $F(3,47) = 3.56, p < .05, \eta^2 = .19$ ). Die siebenjährigen Kinder zeigten den grössten Fehlerbetrag von allen Altersgruppen ( $M = 11.94$  Pixel,  $SD = 7.07$  Pixel), gefolgt von den fünfjährigen Kindern ( $M = 8.93$  Pixel,  $SD = 5.77$  Pixel) und den zehnjährigen Kindern ( $M = 7.07$  Pixel,  $SD = 3.31$  Pixel). Die Erwachsenen zeigten den geringsten Fehlerbetrag ( $M = 5.50$  Pixel,  $SD = 2.16$  Pixel). Ein Gabriel-Post-Hoc-Test zeigte, dass sich nur die siebenjährigen Kinder signifikant von den Erwachsenen unterschieden, ansonsten waren die Altersgruppen stati-

stisch nicht voneinander zu unterscheiden.

Bei der Durchführung mit der linken Hand zeigte sich nur in der x-Abweichung ein signifikanter Effekt des Alters ( $F(3, 47) = 3.13, p < .05, \eta^2 = .17$ ). Die fünfjährigen Kinder zeigten den grössten Lokalisationsfehler in positiver x-Richtung ( $M = 4.98 \text{ Pixel}, SD = 7.23 \text{ Pixel}$ ), gefolgt von den zehnjährigen Kindern ( $M = 3.53 \text{ Pixel}, SD = 5.49 \text{ Pixel}$ ) und den siebenjährigen Kindern ( $M = .54 \text{ Pixel}, SD = 5.39 \text{ Pixel}$ ). Die Erwachsenen zeigten eine Abweichung in negativer x-Richtung ( $M = -1.87 \text{ Pixel}, SD = 4.19 \text{ Pixel}$ ). Ein Gabriel-Post-Hoc-Test zeigte, dass nur der Unterschied zwischen den fünfjährigen Kindern und den Erwachsenen signifikant war. Die y-Abweichung war in den einzelnen Altersgruppen nicht unterschiedlich ( $F < 1, p = .51, \eta^2 = .05$ ) auch nicht der Betrag der Abweichung ( $F < 1, p = .63, \eta^2 = .04$ ).

### **Vergleich Stift - Finger (Experiment 1.1 vs. Experiment 1.3).**

Verglichen wurden die Daten bei einer Durchführung der Aufgabe mit dem Zeigefinger der rechten Hand mit den Daten bei einer Durchführung mit der Spitze eines Plastikstiftes. Diese Daten sind in Abbildung 25 dargestellt. Über alle Altersgruppen gesehen hatte die Art der Durchführung keinen Einfluss auf die x-Abweichung ( $F(1, 83) = 2.17, p = .15, \eta^2 = .03$ ). Nach Alter aufgeschlüsselt zeigten die Erwachsenen keinen Unterschied der Durchführungsart ( $F < 1, p = .93, \eta^2 = .00$ ), die zehnjährigen Kinder ebenfalls nicht ( $F < 1, p = .76, \eta^2 = .00$ ), die siebenjährigen Kinder dagegen schon ( $F(1, 28) = 4.89, p < .05, \eta^2 = .15$ ), hier war der Lokalisationsfehler bei der Durchführung mit dem Plastikstift in negativer x-Richtung ( $M = -1.59 \text{ Pixel}, SD = 5.16 \text{ Pixel}$ ), bei der Durchführung mit dem Zeigefinger in positiver Richtung ( $M = 3.43 \text{ Pixel}, SD = 7.22 \text{ Pixel}$ ).

Die y-Abweichung war über alle Altersgruppen gesehen knapp nicht signifikant ( $F(1, 83) = 3.95, p = .05, \eta^2 = .05$ ), bei der Durchführung der Aufgabe mit dem Zeigefinger der rechten Hand ( $M = -4.26, SD = 7.13$ ) war die Abweichung weiter in negativer y-Richtung als bei der Durchführung mit dem Plastikstift ( $M = -1.73 \text{ Pixel}, SD = 4.56 \text{ Pixel}$ ), dieser Effekt war allerdings sehr schwach. Bei den Erwachsenen war diese Tendenz nicht vorhanden ( $F < 1, p = .45$ ,

$^2 = .02$ ). Die zehnjährigen Kinder zeigten den genannten Effekt signifikant ( $F(1, 27) = 10.02, p < .01, \eta^2 = .27$ ), hier war die Abweichung in y-Richtung bei der Durchführung mit dem Stift nahe bei Null ( $M = .23$  Pixel,  $SD = 3.85$  Pixel) während sie bei der Durchführung mit dem Zeigefinger in negativer y-Richtung war ( $M = -4.52$  Pixel,  $SD = 4.22$  Pixel). Bei den siebenjährigen Kindern zeigte sich diese Unterscheidung wie bei den erwachsenen Versuchspersonen nicht ( $F < 1, p = .66, \eta^2 = .01$ ).

Der Betrag des Abstandes von der tatsächlichen zur subjektiven Targetposition war unterschiedlich in Abhängigkeit der Durchführung ( $F(1, 83) = 9.68, p < .01, \eta^2 = .10$ ), bei der Durchführung mit der Hand war dieser Fehlerbetrag grösser ( $M = 8.49$  Pixel,  $SD = 5.54$  Pixel) als bei der Durchführung mit dem Plastikstift ( $M = 5.37$  Pixel,  $SD = 3.68$  Pixel). Das war auch bei den erwachsenen Versuchspersonen der Fall ( $F(1, 24) = 6.93, p < .05, \eta^2 = .22$ ; Durchführung mit Plastikstift:  $M = 3.48$  Pixel,  $SD = 1.73$  Pixel; Durchführung mit Zeigefinger:  $M = 5.49$  Pixel,  $SD = 2.16$  Pixel). Die zehnjährigen Kinder zeigten diese Unterscheidung höchstens tendenziell ( $F(1, 27) = 2.81, p = .11, \eta^2 = .09$ ; Durchführung mit Plastikstift:  $M = 5.20$  Pixel,  $SD = 2.70$  Pixel; Durchführung mit dem Zeigefinger:  $M = 7.07$  Pixel,  $SD = 3.31$  Pixel). Bei den siebenjährigen Kindern war der Unterschied wieder signifikant ( $F(1, 28) = 4.23, p < .05, \eta^2 = .13$ ; Durchführung mit dem Plastikstift:  $M = 7.44$  Pixel,  $SD = 4.88$  Pixel; Durchführung mit dem Zeigefinger:  $M = 11.95$  Pixel,  $SD = 7.07$  Pixel).

**Vergleich der rechten Hand mit der linken Hand bei der Durchführung mit einem Plastikstift.** Eine Gruppe von erwachsenen Versuchspersonen führte die Aufgabe sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand mit dem Plastikstift durch. Es zeigten sich keine Unterschiede der benutzten Hand, weder in der Abweichung in x-Richtung ( $F < 1, p = .60, \eta^2 = .03$ ), noch in der Abweichung in y-Richtung ( $F < 1, p = .88, \eta^2 = .00$ ), noch im Betrag der Abweichung ( $F < 1, p = .64, \eta^2 = .03$ ).

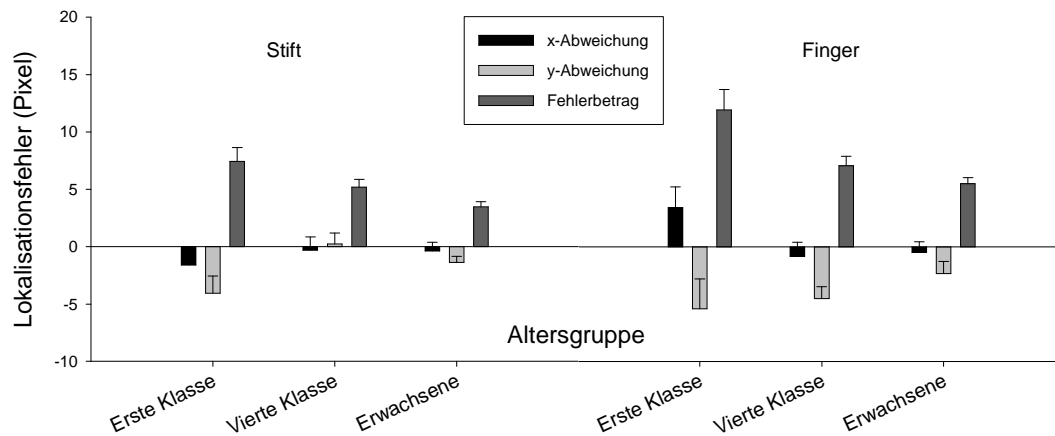


Abbildung 25: Vergleich der Ergebnisse Einführungsdurchgänge aus Experiment 1.1 und 1.3. Die Werte der x-Abweichung, y-Abweichung und der Fehlerbetrag dargestellt für jede Altersgruppe für die Durchführung mit Stift und mit Finger. Positive Werte bei x- und y-Abweichung bedeuten eine Abweichung in die jeweilige positive Richtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

### 2.6.2 Diskussion

Bei der Durchführung mit dem Plastikstift zeigte sich kein Altersunterschied in der x-Richtung. In der y-Richtung waren die zehnjährigen Kinder am genauesten, während die Erwachsenen und die siebenjährigen Kinder eine Abweichung nach unten zeigten. Die Distanz der lokalisierten zur tatsächlichen Targetposition nahm mit steigendem Alter ab. Die Genauigkeit der Lokalisation wurde also grösser, je älter die Versuchspersonen waren. Der Unterschied zwischen den einzelnen Altersgruppen war aber mit je ungefähr 2 Pixeln relativ gering.

Die Bildschirmposition hatte keine Veränderung in der Genauigkeit der Lokisationsaufgabe zur Folge.

Bei der Durchführung der Aufgabe mit dem Zeigefinger entweder der rechten oder der linken Hand zeigte sich insgesamt weder ein Altersunterschied noch ein Unterschied der benutzten Hand. Die x-Abweichung unterschied sich nur bei den zehnjährigen Kindern in Abhängigkeit der benutzten Hand. Mit der rechten Hand lokalisierten sie das Target eher zu weit links und mit der linken Hand eher zu weit rechts. Die y-Abweichung hatte nur bei den fünfjährigen Kindern je nach benutzter Hand unterschiedliche Resultate zur Folge. Mit der

rechten Hand lokalisierten sie das Target sehr genau, mit der linken Hand eher zu weit unten. In der Distanz der lokalisierten zur tatsächlichen Position des Targets liess sich bei allen Altersgruppen kein Unterschied zwischen den benutzten Händen finden. Betrachtet man die Daten der rechten Hand, ergab sich bei der Abweichung in x-Richtung kein Alterseffekt. In y-Richtung machten die fünfjährigen Kinder einen Lokalisationsfehler nach oben, die siebenjährigen Kinder einen Lokalisationsfehler am weitesten nach unten. Die zehnjährigen Kinder und die Erwachsenen lagen zwischen diesen beiden Altersgruppen. Sie lokalisierten das Target aber immer noch zu weit unten. Die Distanz der lokalisierten zur tatsächlichen Targetposition war bei den siebenjährigen Kindern am grössten, gefolgt von den fünfjährigen Kindern, den zehnjährigen Kindern und den Erwachsenen. Wesentlich unterschieden sich dabei die siebenjährigen Kinder nur von den Erwachsenen. Die Daten der rechten Hand unterschieden sich in x-Richtung in Abhängigkeit des Alters. Die Kinder lokalisierten das Target alle zu weit rechts. Die fünfjährigen Kinder zeigten dabei den grössten Lokalisationsfehler, gefolgt von den zehnjährigen und den siebenjährigen Kindern. Die Erwachsenen lokalisierten das Target zu weit links. Die y-Abweichung und der Fehlerbetrag wurden von allen Altersgruppen ähnlich lokalisiert.

Vergleicht man die Daten aus der Bedingung, in der die Aufgabe mit dem Plastikstift, geführt von der rechten Hand durchgeführt wurde, mit der Bedingung, in der die Aufgabe mit dem Zeigefinger der rechten Hand durchgeführt wurde, zeigte sich über alle Altersgruppen kein Unterschied der x-Abweichungen in den beiden Bedingungen. In x-Richtung fand sich nur bei den siebenjährigen Kinder ein Unterschied: Mit dem Plastikstift lagen sie zu weit links, mit dem Zeigefinger zu weit rechts. In y-Richtung zeigte sich ein kleiner Effekt, dass mit Plastikstift und Zeigefinger die Lokalisation jeweils zu weit links lag, wobei der Abstand zum Nullpunkt bei der Durchführung mit dem Zeigefinger grösser war als bei der Durchführung mit dem Plastikstift. Dieses Ergebnis ist vor allem auf die Daten der zehnjährigen Kinder zurückzuführen, die diese Unterscheidung deutlich zeigten. Bei den siebenjährigen Kindern und den Erwachsenen zeigte sich keine Unterscheidung der benutzten Hand. Der Fehlerbetrag war bei



allen Altersgruppen von der Art der Durchführung abhängig. Wenn die Aufgabe mit dem Zeigefinger durchgeführt wurde, war der Lokalisationsfehler grösser als bei der Durchführung mit dem Plastikstift. Dies war bei den Erwachsenen und den siebenjährigen Kindern deutlich, bei den zehnjährigen Kindern tendenziell der Fall.

Bei der Durchführung mit dem Plastikstift zeigte sich kein Unterschied in Abhängigkeit der benutzten Hand, weder in x-Richtung, noch in y-Richtung, noch im Betrag der Differenz.

Die Ergebnisse der Auswertung der statischen Einführungsdurchgänge können wie folgt zusammengefasst werden: Der Fehlerbetrag wird mit steigendem Alter kleiner. Die benutzte Hand hat über die verschiedenen Altersgruppen gesehen keinen systematischen Effekt auf den Lokalisationsfehler. Es macht keinen Unterschied, ob die Erwachsenen die Aufgabe mit vertikalem oder horizontalem Bildschirm durchführten, ob sie einen Plastikstift oder den Zeigefinger benutzten, ob sie den Plastikstift mit der rechten oder der linken Hand benutzten und ob sie den Zeigefinger der rechten oder der linken Hand benutzten.

Die Grösse des Lokalisationsfehlers bei bewegten Objekten lässt sich also nicht durch einen Unterschied in der Genauigkeit der Lokalisation statischer Objekte erklären. Die Lokalisation der Kinder ist ungenauer. Der Unterschied in der Genauigkeit ist nicht so gross, wie der Unterschied im Lokalisationsfehler bei bewegten Objekten. Der Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen den Altersgruppen kann also nicht in einem Altersunterschied in der Genauigkeit des Zeigeverhaltens liegen.

## **2.7 Experiment 1.5 - Linien-Halbierungs-Aufgabe in der Entwicklung**

Um weitere Information zu allfälligen Richtungsunterschieden zu erhalten, wurde den Versuchspersonen in Experiment 1.3 zusätzlich eine Linien-Halbierungs-Aufgabe (engl. *line bisection task*) gestellt. Die Linien-Halbierungs-Aufgabe wird oft als ein Diagnose-Instrument für Patienten mit einem links- oder rechts-hemisphärischen Neglekt benutzt (Butter, Mark, & Heilman, 1988; Halligan &

Marshall, 1989; Schenkenberg, Bradford, & Ajax, 1980). Ein sogenannter *Pseudoneglect* (Bowers & Heilman, 1980) wurde auch bei gesunden Probanden gefunden (Bowers & Heilman, 1980; Bradshaw, Nettleton, Nathan, & Wilson, 1985; MacLeod & Turnbull, 1999; Sampaio & Chokron, 1992; für eine breite Übersicht siehe Jewell & McCourt, 2000). Pseudoneglect beschreibt das Phänomen, dass auch neurologisch unauffällige Personen eine horizontale Linie nicht genau in der Mitte, sondern meist etwas zu weit links halbieren. Der Ursprung dieses Phänomens wird darin gesehen, dass unsere Aufmerksamkeit in der rechten Hemisphäre lokalisiert ist und dadurch das linke Sehfeld stärker repräsentiert ist als das rechte. Dadurch erscheint bei einer Linie die linke Hälfte grösser als die rechte und die Mitte wird dementsprechend zu weit links gesehen.

Entwicklungspsychologische Studien zur Linien-Halbierungs-Aufgabe haben bisher keine eindeutigen Befunde erbracht. Ältere Erwachsene (60-80 Jahre) zeichneten die Mitte zu weit rechts ein, jüngere Erwachsene (20-40 Jahre und 40-60 Jahre) zeigten dagegen keine Abweichung der subjektiven Mitte von der objektiven Mitte (Fujii, Fukatsu, Yamadori, & Kimura, 1995). Rechtshändige Kindergartenkinder zeichneten mit beiden Händen die Mitte einer Linie jeweils zu weit rechts ein; linkshändige Kindergartenkinder zeichneten die Mitte mit der linken Hand zu weit links und mit der rechten Hand zu weit rechts ein (Bradshaw, 1987). Die Lese- und Schreibrichtung, die kulturell unterschiedlich ist, spielt auch hier eine Rolle (Chokron & Imbert, 1993). Bei einer Lese- und Schreibrichtung von links nach rechts wurde die Mitte eher zu weit links eingezeichnet, bei einer umgekehrten Lese- und Schreibrichtung eher zu weit rechts. Selbst Kinder in einem Alter, in dem sie noch nicht lesen können, zeigten diesen Unterschied (Chokron, Agostini, & De Agostini, 1995).

Die Versuchspersonen aus Experiment 1.3 führten zusätzlich vor der jeweiligen Durchführung der Representational-Momentum-Aufgabe eine Linien-Halbierungs-Aufgabe am Touchscreen durch. Damit sollten einerseits mögliche Altersunterschiede in einer weiteren Zeige-Aufgabe getestet werden und die Möglichkeit geschaffen werden, asymmetrische Aufmerksamkeitsprozesse als Erklärung für die gefundenen Alters- und Richtungseffekte entweder herbeizu-

ziehen oder auszuschliessen.

### 2.7.1 Methode

**Versuchspersonen.** Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren die selben wie in Experiment 1.2: 14 im Durchschnitt fünf Jahre alte Kindergartenkinder, 13 im Durchschnitt sieben Jahre alte Kinder der ersten Klasse, 13 im Durchschnitt zehn Jahre alte Kinder der vierten Klasse und 10 erwachsene Versuchspersonen. Alle Versuchspersonen berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Am Bildschirm wurden nacheinander 13 Linien präsentiert. Diese Linien waren jeweils 600 Pixel (= 19.6 cm) lang und 5 Pixel (= 16 mm) breit.

**Prozedur.** Die Linien wurden in zufälliger Reihenfolge an unterschiedlichen Positionen auf dem Bildschirm präsentiert. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, mit dem Finger die Mitte der weissen Linie anzuzeigen. Die Versuchspersonen sollten dazu in einem Durchgang den Zeigefinger der rechten Hand, in einem zweiten Durchgang den Zeigefinger der linken Hand benutzen. Die Reihenfolge der zu benutzenden Hand war ausbalanciert.

### 2.7.2 Resultate

Gemessen wurde die jeweilige Abweichung der angezeigten subjektiven Mitte zur objektiven Mitte in Pixel. Positive Werte bedeuten eine Abweichung nach rechts; negative Werte bedeuten eine Abweichung nach links. Mit den erhaltenen subjektiven Angaben der Position der Mitte wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit dem Innersubjektfaktor Benutzte Hand und den Zwischensubjektfaktoren Altersgruppe, Geschlecht, Händigkeit und Augendominanz der Versuchspersonen. Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der benutzten Hand ( $F(1, 32) = 28.19, p < .001, \eta^2 = .47$ ), bei Durchführung der Aufgabe mit der rechten Hand wurde die subjektive Mitte weiter rechts angegeben als bei der Durchführung

der Aufgabe mit der linken Hand. Es zeigte sich weiter ein signifikanter Effekt des Faktors Geschlecht ( $F(1, 32) = 6.36, p < .05, \eta^2 = .17$ ), die weiblichen Versuchspersonen positionierten die subjektive Mitte weiter links liegend als die männlichen Versuchspersonen. Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der Händigkeit ( $F(1, 32) = 15.11, p < .001, \eta^2 = .32$ ), linkshändige Versuchspersonen positionierten die subjektive Mitte weiter links liegend als rechtshändige Versuchspersonen. Es zeigte sich kein genereller Effekt der Augendominanz ( $F(1, 32) = 2.06, p = .16, \eta^2 = .06$ ), und kein genereller Effekt der Altersgruppe ( $F(3, 32) = 1.36, p = .27, \eta^2 = .11$ ).

Aufgrund des grossen Effektes der Händigkeit und weil nur insgesamt vier Versuchspersonen linkshändig waren, wurde die Analyse erneut ohne diese linkshändigen Versuchspersonen durchgeführt. Aus der Analyse ausgeschlossen wurden eine erwachsene Versuchsperson und drei Kindergartenkinder. Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der benutzten Hand ( $F(1, 31) = 15.80, p < .001, \eta^2 = .34$ ), bei einer Durchführung der Aufgabe mit der linken Hand wurde die subjektive Mitte weiter links positioniert als bei einer Durchführung mit der rechten Hand. Die verschiedenen Altersgruppen zeigten jetzt unterschiedliche Resultate ( $F(3, 31) = 5.00, p < .01, \eta^2 = .33$ ), je älter die Versuchspersonen waren, desto weiter links wurde die subjektive Mitte positioniert. Die Faktoren Augendominanz ( $F(1, 31) = 2.08, p = .16, \eta^2 = .06$ ), und Geschlecht ( $F < 1, \eta^2 = .01$ ), hatten keinen signifikanten Einfluss auf die subjektive Mitte.

Für die nach Alter getrennten weiteren Auswertungen wurden aufgrund der nur in der Auswertung ohne die linkshändigen Versuchspersonen gefundenen Altersunterschiede nur die jeweiligen Daten der rechtshändigen Versuchspersonen benutzt.

**Rechtshändige Versuchspersonen.** Die Daten dieser Auswertung sind in Abbildung 26 dargestellt. Bei der Durchführung mit der rechten Hand zeigte sich ein signifikanter Alterseffekt ( $F(1, 43) = 7.32, p < .001, \eta^2 = .34$ ). Die Abweichung von der Mitte war bei den fünfjährigen Kindern am weitesten nach rechts verschoben ( $M = 30.01$  Pixel,  $SD = 34.61$  Pixel). Die Abweichung war bei den

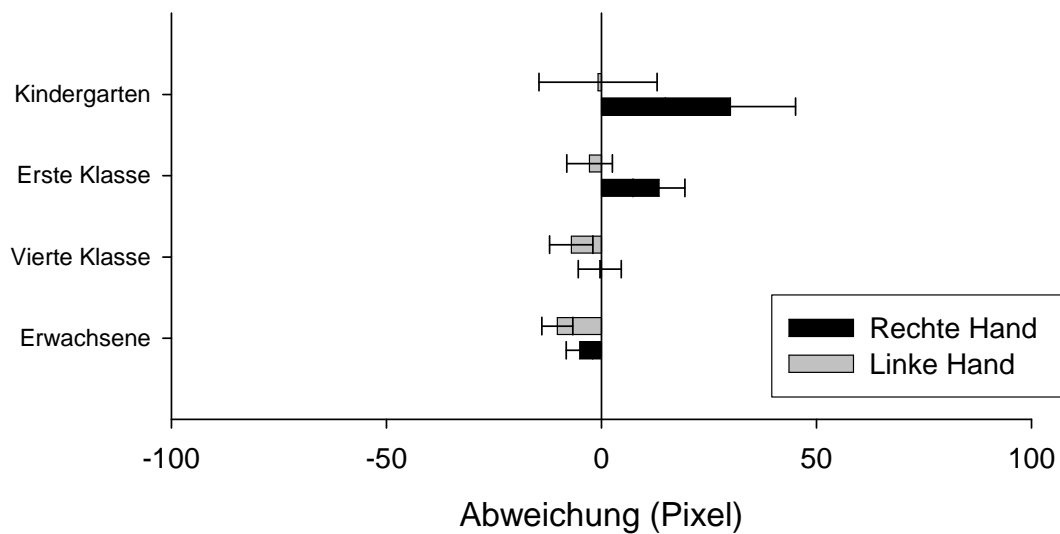


Abbildung 26: Resultate der rechtshändigen Versuchspersonen in Experiment 1.5. Subjektive Mittelwerte einer horizontalen Linie lokalisiert mit der rechten und der linken Hand, über vier Altersgruppen. Negative Werte bedeuten eine Abweichung der subjektiven Mitte nach links, positive Werte eine Abweichung der subjektiven Mitte nach rechts. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

siebenjährigen Kindern weniger weit nach rechts verschoben ( $M = 13.41$  Pixel,  $SD = 14.25$  Pixel) und bei den zehnjährigen Kindern ungefähr Null ( $M = -.37$  Pixel,  $SD = 8.21$  Pixel). Bei den Erwachsenen war diese Abweichung nach links gerichtet ( $M = -5.12$  Pixel,  $SD = 5.75$  Pixel). Auch die Standardabweichung nahm mit steigendem Alter ab ( $F(3, 43) = 5.77, p < .01, \eta^2 = .29$ ).

Bei der Durchführung mit der linken Hand zeigte sich kein signifikanter Alterseffekt der mittleren Abweichung vom Mittelpunkt der Linie ( $F(3, 43) = 1.23, p = .31, \eta^2 = .08$ ), die eingezeichneten subjektiven Mittelpunkte lagen alle links der tatsächlichen Mitte (Fünfjährige Kinder:  $M = -.78$  Pixel,  $SD = 15.30$  Pixel; siebenjährige Kinder:  $M = -2.80$  Pixel,  $SD = 13.06$  Pixel; zehnjährige Kinder:  $M = -7.03$  Pixel,  $SD = 10.68$  Pixel; Erwachsene:  $M = -10.29$  Pixel,  $SD = 9.25$  Pixel). Die Standardabweichungen waren hier ebenfalls grösser, je jünger die Versuchspersonen waren ( $F(3, 43) = 5.49, p < .01, \eta^2 = .28$ ).

**Erwachsene.** Die erwachsenen Versuchspersonen zeigten keinen signifikanten Unterschied in der Positionierung der subjektiven Mitte in Abhängigkeit

der benutzten Hand ( $F(1, 8) = 3.23, p = .11, \eta^2 = .29$ ). Tendenziell positionierten sie die subjektive Mitte bei einer Durchführung der Aufgabe mit der linken Hand weiter links als bei der Durchführung der Aufgabe mit der rechten Hand. Sie positionierten die subjektive Mitte mit beiden Händen jeweils signifikant links von der objektiven Mitte (Rechte Hand:  $t(8) = -2.67, p < .05$  (2-seitig),  $d = -1.89$ ; linke Hand:  $t(8) = -3.34, p < .05$  (2-seitig),  $d = -2.36$ , Mittelwerte und Standardabweichungen siehe oben).

**Kinder der vierten Klasse.** Die zehn Jahre alten Kinder der vierten Klasse zeigten in der Tendenz einen Unterschied in der lokalisierten subjektiven Mitte in Abhängigkeit der benutzten Hand ( $F(1, 12) = 4.47, p = .06, \eta^2 = .27$ ). Bei einer Durchführung der Aufgabe mit der linken Hand lag die positionierte subjektive Mitte weiter links als bei einer Durchführung mit der rechten Hand ( $M(\text{links}) = -7.03 \text{ Pixel}, SD = 10.68 \text{ Pixel}; M(\text{rechts}) = -.37 \text{ Pixel}, SD = 10.68 \text{ Pixel}$ ). Die Daten bei einer Durchführung mit der rechten Hand unterschieden sich dabei nicht von der objektiven Mitte ( $t(12) = -.16, p = .87$  (2-seitig),  $d = -.09$ ). Bei einer Durchführung mit der linken Hand war die subjektive Mitte signifikant nach links von Null verschieden ( $t(12) = -2.37, p < .05$  (2-seitig),  $d = -1.37$ , Mittelwerte und Standardabweichungen siehe oben).

**Kinder der ersten Klasse.** Die angegebenen subjektiven Positionen der Linienmitte unterschieden sich bei den sieben Jahre alten Kindern signifikant in Abhängigkeit der benutzten Hand ( $F(1, 13) = 23.72, p < .001, \eta^2 = .65$ ). Bei einer Durchführung der Aufgabe mit der rechten Hand lag die subjektive Mitte weiter rechts als bei einer Durchführung der Aufgabe mit der linken Hand. Bei einer Durchführung mit der rechten Hand lag die subjektive Mitte auch weiter rechts als die objektive Mitte ( $t(13) = 3.52, p < .01$  (2-seitig),  $d = 1.95$ ). Bei einer Durchführung mit der linken Hand unterschied sich die subjektiv angegebene Mitte nicht von der objektiven Mitte ( $t(13) = -.80, p = .44$  (2-seitig),  $d = -.44$ , Mittelwerte und Standardabweichungen siehe oben).

**Kindergartenkinder.** Die im Durchschnitt fünf Jahre alten Kindergartenkinder zeigten Unterschiede in der Position der subjektiven Mitte je nach benutzter Hand ( $F(1, 10) = 7.84, p < .05, \eta^2 = .44$ ), bei der Durchführung der Aufgabe mit der linken Hand war die subjektive Mitte weiter links positioniert als bei einer Durchführung der Aufgabe mit der rechten Hand. Die Position der subjektiven Mitte lag bei der Durchführung mit der rechten Hand weiter rechts als die objektive Mitte ( $t(10) = 2.88, p < .05$  (2-seitig),  $d = 1.82$ ). Bei der

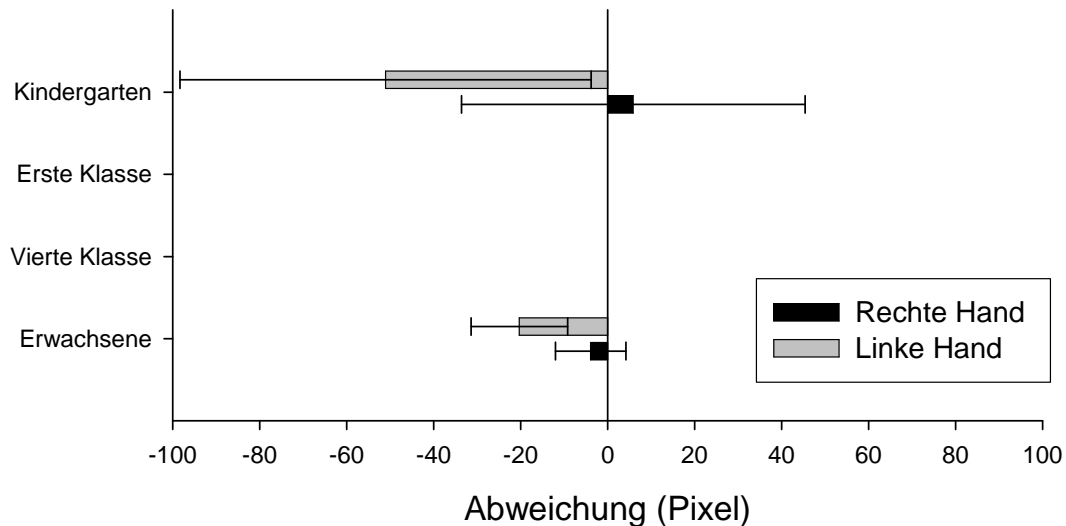


Abbildung 27: Resultate der linkshändigen Versuchspersonen in Experiment 1.5. Subjektive Mittelwerte einer horizontalen Linie lokalisiert mit der rechten und der linken Hand. Die sieben- und zehnjährigen Kinder waren alle rechtshändig, ausgewertet wurden drei fünfjährige Kinder und eine erwachsene Versuchsperson. Negative Werte bedeuten eine Abweichung der subjektiven Mitte nach links, positive Werte eine Abweichung der subjektiven Mitte nach rechts. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

**Linkshändige Versuchspersonen.** Die Daten der erwachsenen Versuchsperson und der drei fünfjährigen Kinder, welche linkshändig waren, wurden aufgrund der kleinen Stichprobe nur deskriptiv ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 27 dargestellt.

Die linkshändige erwachsene Versuchsperson zeigte ein ähnliches Muster wie die rechtshändigen Erwachsenen (rechte Hand:  $M = -3.92$  Pixel,  $SD = 8.12$  Pixel, linke Hand:  $M = -20.31$  Pixel,  $SD = 11.11$  Pixel). Mit beiden Händen wurde die subjektive Mitte jeweils links der tatsächlichen Linienmitte eingetragen. Der Lokalisationsfehler war bei der Durchführung mit der linken Hand etwas grösser als mit der rechten Hand. Die drei fünfjährigen und linkshändigen Kinder zeigten dagegen genau das umgekehrte Datenmuster wie die rechtshändigen Kinder gleichen Alters (rechte Hand  $M = 5.93$  Pixel,  $SD = 68.42$  Pixel, linke Hand:  $M = -51.06$  Pixel,  $SD = 81.80$  Pixel). Mit der rechten Hand war die subjektive Mitte leicht nach rechts verschoben, während mit der linken Hand die subjektive Mitte deutlich links von der tatsächlichen Mitte eingetragen wurde.

### 2.7.3 Diskussion

Die Daten von Experiment 1.5 zeigen, dass das Einzeichnen der subjektiven Mitte einer horizontalen Linie einem deutlichen Entwicklungstrend unterliegt. Wird die Linien-Halbierungs-Aufgabe mit der rechten Hand ausgeführt, lokalisieren die fünfjährigen Kinder die subjektive Mitte zu weit rechts. Dieser Lokalisationsfehler wird mit steigendem Alter kleiner. Die Erwachsenen lokalisieren die subjektive Mitte dann leicht links von der tatsächlichen Mitte. Bei der Durchführung der Aufgabe mit der linken Hand gibt es nur den Entwicklungstrend der mit steigendem Alter geringer werdenden Fehlervarianz, der auch bei der Durchführung mit der rechten Hand gefunden wurde. Die Versuchspersonen aller Altersgruppen lokalisierten mit der linken Hand die subjektive Mitte zu weit links. Es gibt also einen Entwicklungstrend der Lokalisation der subjektiven Mitte einer horizontalen Linie von rechts nach links mit der rechten Hand und von der Mitte nach links mit der linken Hand.

Die fünfjährigen, linkshändigen Kinder zeigten gerade das umgekehrte Bild. Bei ihnen ist die lokalisierte Mitte bei der Durchführung mit der rechten Hand leicht nach rechts verschoben. Mit der linken Hand ist die subjektive Mitte nach links verschoben. Die eine linkshändige erwachsene Versuchsperson zeigte eine



ähnliches Datenmuster wie die rechtshändigen Erwachsenen. Die Abweichung lag sowohl mit der linken als auch mit der rechten Hand links der objektiven Mitte. Hier scheint ebenfalls ein Entwicklungstrend der Lokalisation der subjektiven Mitte einer horizontalen Linie von rechts nach links mit der rechten Hand und von weit links nach weniger weit links mit der linken Hand.

Die gefundenen Ergebnisse sprechen insgesamt gegen die Hypothese der rechtshemisphärischen Aufmerksamkeit als einzige Erklärung für die Fehllokalisierung der Mitte einer geraden, horizontalen Linie. Wäre die Aufmerksamkeit für diese Fehllokalisierung verantwortlich, müsste die subjektive Mitte einer Linie bei allen Altersklassen und unabhängig von der benutzten Hand immer zu weit links eingezeichnet werden; dies ist aber nicht der Fall.

## **2.8 Experiment 1.6 - Einfluss der Reaktionszeit auf den Lokalisationsfehler**

Befunde von Freyd und Johnson (1987) sowie Kerzel (2000) konnten einen Einfluss der Länge des Retention-Intervalls auf den Lokalisationsfehler zeigen. Wenn die Zeit zwischen dem Verschwinden des Objekts und dem Erscheinen des Referenzobjekts verlängert wurde, wuchs auch die Grösse des Lokalisationsfehlers an. Das war allerdings nur bis zu einer Dauer von ungefähr 300 ms der Fall. Danach wurde der Lokalisationsfehler entweder wieder kleiner (Freyd & Johnson, 1987), oder er blieb konstant (Kerzel, 2000). In den bisherigen Ergebnissen der vorliegenden Arbeit waren bislang keine systematischen Effekte der Reaktionszeit zu erkennen. Diese lag bei allen Altersgruppen sehr stabil bei ungefähr 1.0 s. Diese Zeitdauer liegt weit über der von Freyd und Johnson (1987) sowie Kerzel (2000) gefundenen. Ein Effekt der Reaktionszeit auf den Lokalisationsfehler beim Durchführen der Aufgabe mit dem Touchscreen-Paradigma ist auf Grund dieser Daten eigentlich nicht zu erwarten.

In Experiment 1.6 sollte kontrolliert werden, ob die Reaktionszeit definitiv keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers hat. Dazu wurde die Zeit zwischen dem Verschwinden des Targets und der Lokalisation der Versuchsperson systematisch variiert.

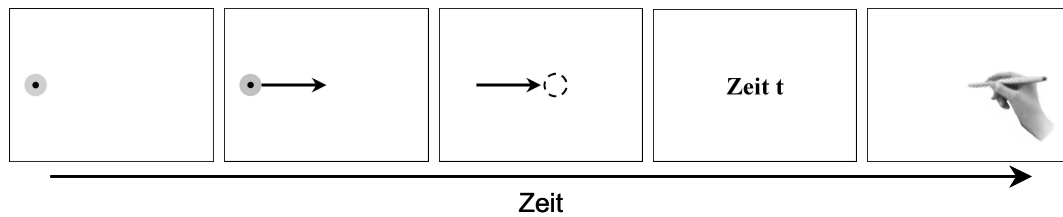


Abbildung 28: Schematische Illustration der Experimentaldurchgänge von Experiment 1.6: Das kreisförmige Target startet nach 0.5 s, bewegt sich horizontal und verschwindet. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, zu warten bis ein Piepston ertönt (0.1 s, 0.5 s, 1.0 s, 1.5 s oder 2.0 s) und erst danach die letzte Position des Targets mit der Spitze eines Plastikstiftes direkt auf dem Bildschirm anzuzeigen

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (5 Frauen und 5 Männer, Durchschnittsalter: 24;6, Altersbereich: 19;5 bis 28;9). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem oder durch ein Hilfsmittel (Brille, Kontaktlinsen) korrigiertem Sehvermögen. Alle Versuchspersonen waren rechtshändig. Sechs Versuchspersonen zeigten eine Augendominanz des linken Auges, vier eine Augendominanz des rechten Auges.

**Versuchsaufbau.** Der Versuchsaufbau war ähnlich demjenigen aus Experiment 1.3. Ein kreisförmiges blaues Target mit rotem Zentrum bewegte sich horizontal von links nach rechts oder von rechts nach links. Die Targetgeschwindigkeit betrug in jedem Versuchsdurchgang 8.0 cm/s und wurde nicht variiert. Das Target verschwand an einer von drei Positionen in der Nähe des horizontalen Bildschirmzentrums. Nach dem Verschwinden des Targets ertönte zeitlich verzögert ein computerisierter Piepston (nach 0.1 s, 0.5 s, 1.0 s, 1.5 s oder 2.0 s). Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, nach dem Ertönen des Piepstons die letzte Position des Targets mit der Spitze eines Plastikstiftes auf dem Bildschirm anzuzeigen (siehe Abbildung 28).

**Prozedur.** Auf die üblichen 20 statischen Einführungsdurchgänge folgten 10 bewegte Probedurchgänge, die zufällig aus den Experimentaldurchgängen

ausgewählt wurden. Es folgten 90 Experimentaldurchgänge (2 Bewegungsrichtungen x 5 Retention-Intervalle x 3 Verschwindepunkte x 3 Messwiederholungen). Die Dauer des Experimentes betrug pro Versuchsperson ungefähr 15 Minuten.

### 2.8.1 Resultate

**Lokalisationsfehler.** Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung und Verzögerungsintervall sowie den Zwischensubjektfaktoren Geschlecht und Augendominanz der Versuchspersonen. Die Daten von Experiment 1.6 sind in der Abbildung 29 dargestellt.

Der Faktor Geschlecht hatte einen tendenziellen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 6) = 4.75, p = .07, \eta^2 = .44$ ), die weiblichen Versuchspersonen produzierten einen tendenziell grösseren Lokalisationsfehler. Der Faktor Augendominanz hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .58, \eta^2 = .06$ ). Die beiden Zwischensubjektfaktoren wurden nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Der Lokalisationsfehler veränderte sich nicht signifikant in Abhängigkeit der Bewegungsrichtung ( $F(1, 9) = 2.65, p = .14, \eta^2 = .23$ ), allenfalls in der Tendenz ist zu erkennen, dass der Lokalisationsfehler bei einer Bewegungsrichtung von links nach rechts grösser war als von rechts nach links. Das Verzögerungsintervall hatte ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(4, 36) = 1.65, p = .18, \eta^2 = .16$ ). Die Interaktion der beiden Faktoren war nicht signifikant ( $F < 1, p = .17, \eta^2 = .16$ ).

**Reaktionszeit.** Die Reaktionszeiten der Versuchspersonen wurden in gleicher Weise wie die Lokalisationsfehler ausgewertet. Das Geschlecht ( $F(1, 6) = 1.27, p = .30, \eta^2 = .17$ ) und die Augendominanz der Versuchspersonen ( $F < 1, p = .44, \eta^2 = .10$ ) hatten keinen Einfluss auf die Reaktionszeiten. Die beiden Faktoren wurden nicht in die folgenden Datenanalyse miteinbezogen. Der Faktor Bewegungsrichtung war nicht signifikant ( $F(1, 9) = 2.24, p = .17, \eta^2 = .20$ ). Das Verzögerungsintervall hatte einen Effekt auf die Reaktionszeiten ( $F(4, 36) =$

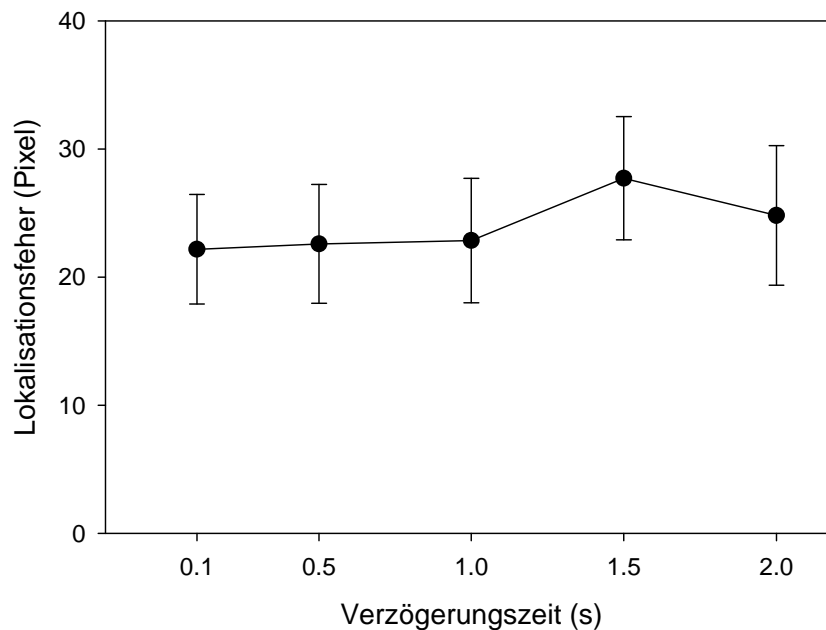


Abbildung 29: Resultate Experiment 1.6. Lokalisationsfehler in Abhängigkeit des variierten Retention-Intervalls (Verzögerungszeit). Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

7.24,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .45$ ), je länger die Versuchspersonen nach dem Verschwinden des Targets warten mussten, umso kürzer war die Reaktionszeit. Die Interaktion dieser beiden Faktoren war nicht signifikant ( $F(4, 36) = 1.18, p = .34, \eta^2 = .12$ ).

### 2.8.2 Diskussion

Das Retention-Intervall hatte keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers. Die Reaktionszeit wurde allerdings mit grösser werdendem Retention-Intervall kürzer. Das kann damit erklärt werden, dass die Versuchspersonen bei längerem Verzögerungsintervall sich nicht mehr auf die Lokalisation des Targets konzentrieren mussten, sondern nur noch den erwarteten Ton abwarten und dann die Lokalisation durchführten.

## 2.9 Experiment 1.7 - Der Einfluss einer Landmarke auf vertikale und horizontale Bewegung

In Experiment 1.1 konnte der von Hubbard und Bharucha (1988) berichtete Effekt der Gravitationskraft nur bei horizontaler Targetbewegung repliziert werden. Bei vertikaler Targetbewegung zeigten nur die siebenjährigen Kinder den zu erwartenden Effekt eines grösseren Lokalisationsfehlers bei einer Targetbewegung nach unten als bei einer Targetbewegung nach oben. Die zehnjährigen Kinder zeigten noch einen Lokalisationsfehler bei vertikaler Targetbewegung, dieser war allerdings grösser bei einer Bewegung nach oben. Die Erwachsenen zeigten bei vertikaler Targetbewegung überhaupt keinen Lokalisationsfehler mehr. In Experiment 1.7 wurde versucht, den Lokalisationsfehler durch die zusätzliche Präsentation einer Landmarke zu vergrössern. Hubbard und Ruppel (1999) zeigten, dass eine Landmarke, auf die sich das Target zu bewegte, den Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung vergrösserte. Auf diese Weise sollte für das Touchscreen-Paradigma überprüft werden, ob ein Lokalisationsfehler bei vertikaler Targetbewegung sich bei Erwachsenen überhaupt findet, und wenn doch, ob und wie sich die Gravitationskraft auf den Lokalisationsfehler auswirkt.

### 2.9.1 Methode

**Versuchspersonen.** Am Experiment 1.7 nahmen 10 Versuchspersonen teil (6 Frauen und 4 Männer, Durchschnittsalter: 24;4, Altersbereich: 19;9 bis 31;1). Alle Versuchspersonen waren Studierende oder Assistierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen). Alle Versuchspersonen waren rechtshändig.

**Versuchsaufbau.** Der Versuchsaufbau war im Wesentlichen derselbe wie in Experiment 1.1. Das Target bewegte sich mit drei konstanten Geschwindigkeiten entweder horizontal oder vertikal. Zusätzlich wurde während der Zeit, in der das Target sichtbar war, eine Landmarke am Bildschirm präsentiert (siehe Abbildung 30). Diese Landmarke befand sich auf der gegenüberliegenden

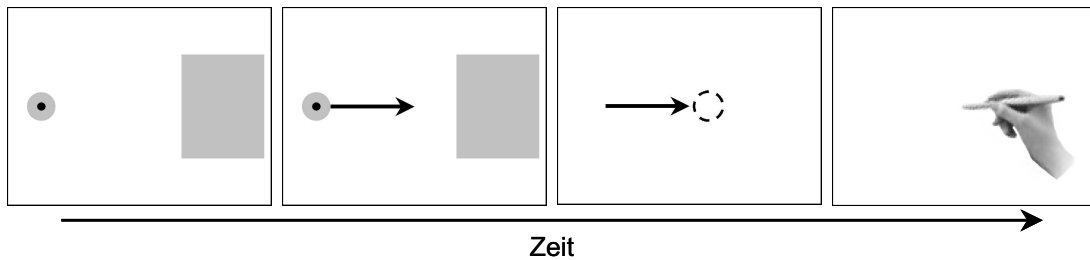


Abbildung 30: Schematische Illustration der Experimentaldurchgänge von Experiment 1.7: Das kreisförmige Target startet nach 0.5 s, bewegt sich horizontal auf eine Landmarke zu. Das Target und die Landmarke verschwinden zeitgleich. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, die letzte Position des Targets mit der Spitze eines Plastikstiftes direkt auf dem Bildschirm anzuzeigen.

Bildschirmseite der Startposition des Targets. Die Landmarke war 6.5 cm breit und 7.0 cm hoch. Bei horizontaler Targetbewegung war sie 3.7 cm vom näheren Bildschirmrand entfernt, bei vertikaler Targetbewegung lag sie direkt am näheren Bildschirmrand. In beiden Bewegungsrichtungen war die Landmarke jeweils 16.35 cm von der Startposition des Targets entfernt.

**Prozedur.** Der Ablauf von Experiment 1.7 war identisch mit demjenigen von Experiment 1.1.

### 2.9.2 Resultate

Die erhaltenen Lokalisationsfehler und Reaktionszeiten wurden mit den Lokalisationsfehlern der erwachsenen Versuchspersonen aus Experiment 1.1 verglichen. Dazu wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Messwiederholung, Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit sowie den Zwischensubjektfaktoren Experimentalbedingung und Geschlecht der Versuchspersonen.

**Lokalisationsfehler.** Die erhaltenen Lokalisationsfehler sind in Abbildung 31 dargestellt. Das Geschlecht der Versuchspersonen hatte keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 22) = 2.05, p < .16, \eta^2 = .09$ ). Es zeigte sich ein genereller Unterschied zwischen den beiden Experimentalbedingungen

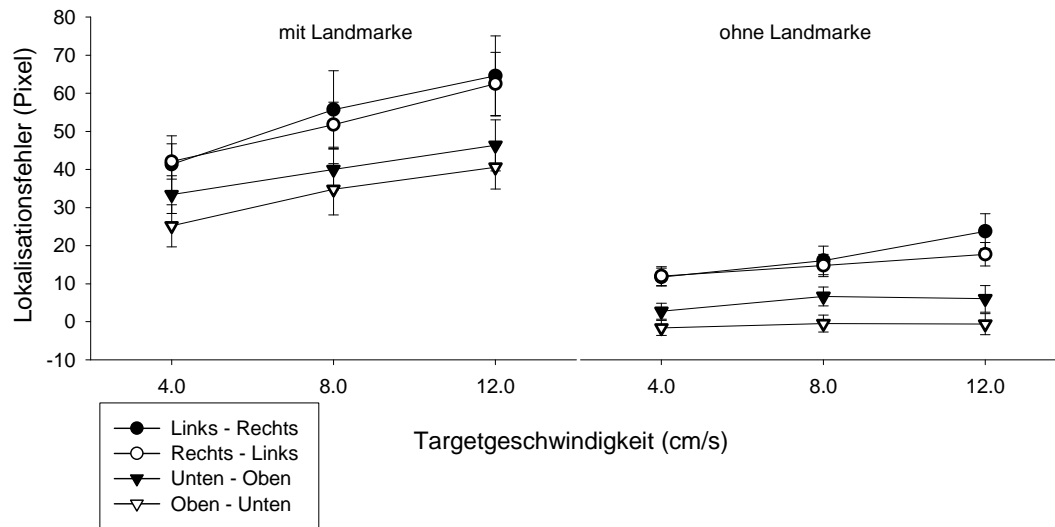


Abbildung 31: Vergleich der Resultate aus Experiment 1.7 (links, mit Landmarke) und Experiment 1.1 (rechts, ohne Landmarke). Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der vier Bewegungsrichtungen des Targets und der drei Targetgeschwindigkeiten. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

( $F(1, 22) = 60.09, p < .001, \eta^2 = .73$ ), der Lokalisationsfehler war in der Bedingung mit Landmarken deutlich grösser als in der Bedingung ohne Landmarken. Der Lokalisationsfehler war in der ersten Hälfte des Experiments kleiner als in der zweiten Hälfte ( $F(1, 22) = 4.67, p < .05, \eta^2 = .18$ ). Die Bewegungsrichtung hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(3, 66) = 13.96, p < .001, \eta^2 = .39$ ). Der Lokalisationsfehler war abhängig von der Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 44) = 51.04, p < .001, \eta^2 = .70$ ), je grösser die Targetgeschwindigkeit war, desto grösser war auch der Lokalisationsfehler. Das war in der Bedingung mit Landmarken noch ausgeprägter als in der Bedingung ohne Landmarken, die Interaktion von Experimentalbedingung und Targetgeschwindigkeit war signifikant ( $F(2, 44) = 15.88, p < .001, \eta^2 = .42$ ).

Die Faktoren Geschlecht und Messwiederholung wurden nicht in die weitere Analyse miteinbezogen. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Experimentalbedingung mit Landmarke dargestellt. Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der Bewegungsrichtung ( $F(3, 27) = 3.62, p < .05, \eta^2 = .29$ ). Die verschiedenen Bewegungsrichtungen verursachten unterschiedlich grosse Lokalisations-

fehler. Die Targetgeschwindigkeit hatte einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(2, 18) = 38.08, p < .001, \eta^2 = .81$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler. Dies war unabhängig von der Bewegungsrichtung, die Interaktion der beiden Faktoren hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .57, \eta^2 = .08$ ).

Die Daten der Lokalisationsfehler bei horizontaler Targetbewegung wurden verglichen mit den Lokalisationsfehlern bei vertikaler Targetbewegung. Die generelle Bewegungsrichtung hat einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 9) = 56.65, p < .001, \eta^2 = .86$ ), horizontale Targetbewegung hat einen grösseren Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung zur Folge als vertikale Targetbewegung.

Bei horizontaler Targetbewegung machte es keinen Unterschied, ob sich das Target von links nach rechts oder von rechts nach links bewegte ( $F < 1, p = .87, \eta^2 = .00$ ). Die Targetgeschwindigkeit hatte auch hier einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(2, 18) = 19.00, p < .001, \eta^2 = .68$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler. Die Interaktion dieser beiden Faktoren war nicht signifikant ( $F < 1, p = .68, \eta^2 = .04$ ).

Bei vertikaler Targetbewegung zeigte sich ebenfalls kein Effekt der Bewegungsrichtung ( $F(1, 9) = 1.14, p = .31, \eta^2 = .11$ ). Die Targetgeschwindigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(2, 18) = 22.41, p < .001, \eta^2 = .71$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der Lokalisationsfehler. Die Interaktion dieser beiden Faktoren war nicht signifikant ( $F < 1, p = .84, \eta^2 = .02$ ).

**Reaktionszeit.** Die Reaktionszeiten wurden ebenfalls mit denen aus Experiment 1.1 verglichen und in gleicher Weise ausgewertet wie die Lokalisationsfehler. Die Reaktionszeit veränderte sich nicht von der ersten Hälfte des Experimentes zur zweiten Hälfte ( $F(1, 22) = 1.19, p = .29, \eta^2 = .05$ ). Die Bewegungsrichtung des Targets hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ( $F < 1, p = .61, \eta^2 = .03$ ), auch nicht die Geschwindigkeit des Targets ( $F < 1, p = .44, \eta^2 = .04$ ). Das Geschlecht der Versuchspersonen hatte keinen



signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ( $F < 1, p = .47, \eta^2 = .02$ ). Die Reaktionszeiten der Experimentalbedingung mit Landmarken unterschieden sich nicht von den Reaktionszeiten aus Experiment 1.1 ( $F(1, 22) = 2.30, p = .14, \eta^2 = .09$ ).

Bei einer separaten Auswertung der Reaktionszeiten von Experiment 1.7 zeigte sich kein Unterschied abhängig von der Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .44, \eta^2 = .09$ ). Die Targetgeschwindigkeit hatte einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ( $F(2, 18) = 4.77, p < .05, \eta^2 = .35$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto geringer war die Reaktionszeit. Die Interaktion der beiden Faktoren war ebenfalls signifikant ( $F(6, 54) = 2.88, p < .05, \eta^2 = .24$ ). Das kürzer Werden der Reaktionszeiten war nur bei den Bewegungen von links nach rechts und von rechts nach links sowie von unten nach oben der Fall. Bei einer Bewegung von oben nach unten war die Reaktionszeit bei der schnellsten Targetgeschwindigkeit von 12.0 cm/s am längsten.

### 2.9.3 Diskussion

In der Bedingung, in welcher sich das Target auf eine Landmarke zu bewegte, war der Lokalisationsfehler insgesamt grösser als in der Bedingung ohne Landmarke. Das ist eine Replikation des von Hubbard und Ruppel (1999) beim Representational Momentum gefundenen Landmark-Attraction-Effekts. In Experiment 1.1 trat bei vertikaler Targetbewegung überhaupt kein Lokalisationsfehler auf, unabhängig von der Targetgeschwindigkeit. In Experiment 1.7 zeigte sich ein Effekt der Targetgeschwindigkeit sowohl bei horizontaler als auch bei vertikaler Targetbewegung. Der Lokalisationsfehler wurde in beiden Richtungen grösser, je schneller sich das Target bewegte. Nach wie vor war der Lokalisationsfehler aber bei horizontaler Targetbewegung grösser als bei vertikaler Targetbewegung. Die Bewegungsrichtung des Targets beeinflusste die Grösse des Lokalisationsfehlers bei horizontaler Targetbewegung nicht. Bei vertikaler Targetbewegung liess sich ebenfalls kein signifikanter Effekt der Richtung finden. Es sieht allerdings in der Abbildung 31 so aus, als ob der Lokalisationsfehler bei einer Targetbewegung nach oben grösser war als bei einer Targetbewegung nach unten, also entgegen

der Richtung der Gravitationskraft.

Der Lokalisationsfehler wird also insgesamt grösser durch das Vorhandensein einer Landmarke. Erstaunlich ist, dass bei vertikaler Targetbewegung im Gegensatz zu den Befunden aus Experiment 1.1 nicht nur ein konsistenter Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung gefunden wurde, sondern dieser auch mit steigender Targetgeschwindigkeit grösser wurde. Die Landmarke scheint also nicht nur einen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers zu haben, sondern auch auf die wahrgenommene Targetgeschwindigkeit.

## **2.10 Experiment 1.8 - Konstante vs. beschleunigte Targetgeschwindigkeit**

Eine möglicher Grund, warum es zu einem Unterschied zwischen den beiden horizontalen Bewegungsrichtungen kommt, könnte in der unterschiedlichen Wahrnehmung der Geschwindigkeit horizontaler Bewegung liegen. Wie schon weiter oben beschrieben, werden Objekte, die sich nach rechts bewegen, als beschleunigt wahrgenommen, und Objekte, die sich nach links bewegen, als abgebremst (Gaffron, 1950; Hansen, 1978 (zitiert in Halpern & Kelly, 1993)). Die subjektive Wahrnehmung der Geschwindigkeit eines Objekts, die sich womöglich von der objektiven Geschwindigkeit unterscheidet, könnte zu einem Unterschied im Lokalisationsfehler führen.

In Experiment 1.8 sollte getestet werden, ob sich das Representational Momentum unterscheidet, wenn im einen Fall das Target sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, im anderen Fall beschleunigt, so dass in beiden Fällen das Target dieselbe Endgeschwindigkeit hat.

Bisherige Befunde zum Einfluss von beschleunigter Objektbewegung auf das Representational Momentum konnten zwar zeigen, dass unabhängig davon, ob ein Objekt sich mit konstanter Geschwindigkeit, positiv oder negativ beschleunigt bewegt, immer die letzte Geschwindigkeit vor dem Verschwinden den entscheidenden Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers hat (Finke, Freyd, & Shyi, 1986). Die Befunde aus Experiment 1.1 zeigten aber, dass zum Beispiel bei vertikaler Targetbewegung sich die Ergebnisse bei Anwendung des Touchscreen-

Paradigmas von den Ergebnissen der Studien unterschieden, in denen die letzte Position mit einem Referenzobjekt verglichen oder mit der Maus angezeigt werden sollte. Aber auch der Einfluss der Erwartung über die Objektbewegung, der in früheren Untersuchungen gefunden wurde (Hubbard & Bharucha, 1988; Verfaillie & d'Ydewalle, 1991), könnte hier den Lokalisationsfehler beeinflussen. Bei beschleunigter Bewegung könnte ein weiterer Anstieg der Geschwindigkeit erwartet werden, nach dem das Objekt verschwunden ist; bei konstanter Geschwindigkeit ist das nicht der Fall.

Das Ziel von diesem Kontrollexperiment 1.8 war es, zu überprüfen, ob die Befunde von Finke et al. (1986) auch bei einer glatten Objektbewegung gefunden werden können, oder ob es in diesem Fall zu unterschiedlichen Resultaten kommt, und der Lokalisationsfehler gemäss der Erwartung der weiteren Bewegung also grösser wird bei einem beschleunigten Objekt, das die gleiche Endgeschwindigkeit hat wie ein sich konstant bewegendes Objekt.

Es gibt unterschiedliche Befunde darüber, wie Beschleunigung wahrgenommen wird, und wie stark ein Objekt beschleunigt sein muss, damit Veränderungen in der Geschwindigkeit wahrgenommen werden können (Babler & Dannemiller, 1993; Calderone & Kaiser, 1989; Gottsdanker, Frick, & Lockard, 1961; Schmerler, 1976). Die Mehrzahl dieser Befunde zeigte, dass die Geschwindigkeit sich deutlich (teilweise mehr als 100 %) ändern muss, damit eine Veränderung wahrgenommen werden kann. Um sicherzugehen, dass die Targetbewegung in diesem Experiment als beschleunigt erkannt wird, wurde eine Anfangsgeschwindigkeit des Targets in der beschleunigten Bedingung von 0.0 cm/s gewählt. Das Target wurde dann linear auf die Endgeschwindigkeit von 8.0 cm/s beschleunigt.

### 2.10.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer waren 10 erwachsene Versuchspersonen (5 Frauen und 5 Männer, Durchschnittsalter: 25;0, Altersbereich: 19;5 bis 41;11). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den

Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen). Von den zehn Versuchspersonen waren neun rechtshändig und eine linkshändig; acht hatten eine Dominanz des rechten Auges, zwei eine Dominanz des linken Auges.

**Versuchsaufbau.** Der benutzte Versuchsaufbau war demjenigen aus Experiment 1.3 sehr ähnlich. Das Target bewegte sich in dieser Bedingung nur horizontal, von links nach rechts oder von rechts nach links. In der Experimentalbedingung 'konstante Geschwindigkeit' bewegte es sich mit einer konstanten Geschwindigkeit, 8.0 cm/s. In der Experimentalbedingung 'beschleunigte Geschwindigkeit' startete das Target mit einer Geschwindigkeit von 0.0 cm/s und hatte dieselbe Endgeschwindigkeit wie in der Bedingung 'konstante Geschwindigkeit', 8.0 cm/s. Das Target startete an 3 unterschiedlichen Positionen (5.0 cm, 3.7 cm oder 2.4 cm vom Bildschirmrand entfernt) legte jeweils eine Distanz von 13.1 cm zurück und verschwand dann von der Bildschirmoberfläche (Für eine schematische Darstellung des Versuchsaufbaus siehe Abbildung 10, Seite 66).

**Prozedur.** Zu Beginn des Experiments wurden die üblichen zwei mal zehn statischen Einführungsdurchgänge präsentiert. Es folgten die beiden Experimentalbedingungen, die Reihenfolge der Bedingungen war über die Versuchspersonen ausbalanciert. Die beiden Experimentalbedingungen wurden jeweils mit zehn zufällig aus den Experimentaldurchgängen ausgewählten Probedurchgängen eingeführt. Es folgten 36 Versuchsdurchgänge in zufälliger Reihenfolge (2 Richtungen x 3 Startpositionen x 6 Messwiederholungen). Die Dauer des Experimentes betrug pro Versuchsperson ungefähr 15 Minuten.

### 2.10.2 Resultate

Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler und den Reaktionszeiten wurde jeweils eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Experimentalbedingung und Bewegungsrichtung, sowie den Zwischensubjektfaktoren Geschlecht, Augendominanz und Händigkeit.

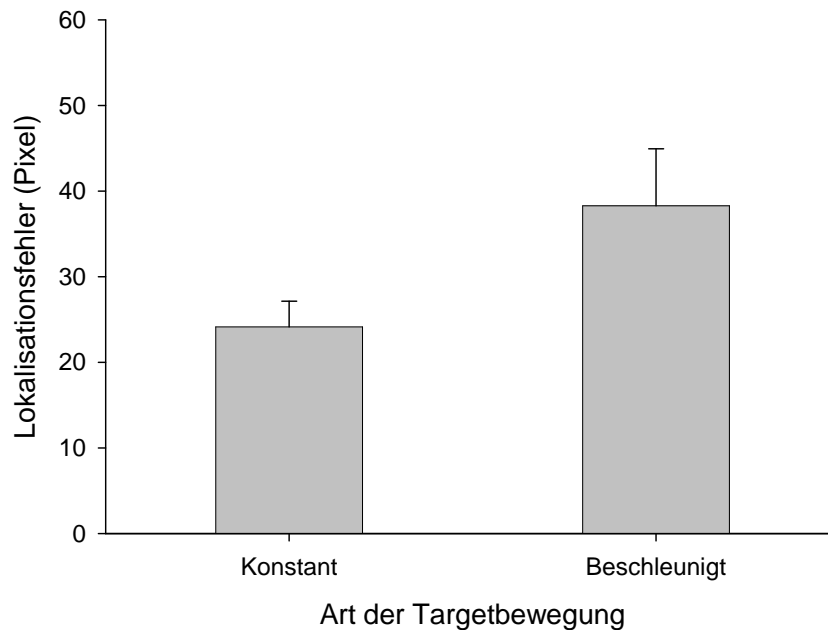


Abbildung 32: Resultate von Experiment 1.8. Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der Form der Targetbewegung (konstant vs. beschleunigt). Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

**Lokalisationsfehler.** Die Daten der Lokalisationsfehler aus Experiment 1.8 sind in der Abbildung 32 dargestellt. Die drei Zwischensubjektfaktoren hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler (Geschlecht:  $F(1, 6) = 1.19, p = .32, \eta^2 = .17$ , Augendominanz:  $F < 1, p = .41, \eta^2 = .12$ , Händigkeit (nur 1 linkshändige Versuchsperson):  $F(1, 6) = 2.02, p < .21, \eta^2 = .25$ ). Diese Faktoren wurden nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Die Experimentalbedingung führte zu einem signifikanten Unterschied im Lokalisationsfehler ( $F(1, 9) = 7.39, p < .05, \eta^2 = .45$ ), bei beschleunigter Targetbewegung war der Lokalisationsfehler grösser als bei konstanter Targetbewegung. Die Bewegungsrichtung hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 9) = 1.25, p = .29, \eta^2 = .12$ ). Ebenso wenig hatte die Interaktion dieser beiden Faktoren einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .82, \eta^2 = .01$ ).

In der Bedingung mit konstanter Geschwindigkeit wurde die Richtung nur tendenziell unterschieden ( $F(1, 9) = 3.36, p = .10, \eta^2 = .27$ ), der Lokalisations-

fehler war bei Targetbewegung von links nach rechts leicht grösser als von rechts nach links. Bei beschleunigter Bewegung zeigte sich keine Unterscheidung der Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .55, \eta^2 = .04$ ).

**Reaktionszeit.** Die Zwischensubjektfaktoren Geschlecht ( $F < 1, p = .40, \eta^2 = .12$ ), Augendominanz ( $F < 1, p = .84, \eta^2 = .01$ ) und Händigkeit der Versuchspersonen ( $F < 1, p = .85, \eta^2 = .01$ ) beeinflussten die Reaktionszeiten nicht signifikant. Sie wurden nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Die Experimentalbedingung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten der Versuchspersonen ( $F < 1, p = .27, \eta^2 = .13$ ), die Reaktionszeiten in der Bedingung mit beschleunigter Targetgeschwindigkeit waren vergleichbar mit den Reaktionszeiten in der Bedingung mit konstanter Targetgeschwindigkeit. Die Bewegungsrichtung hatte ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ( $F < 1, p = .28, \eta^2 = .13$ ). Die Interaktion dieser beiden Faktoren war nicht signifikant ( $F < 1, p = .35, \eta^2 = .10$ ).

### 2.10.3 Diskussion

Der Lokalisationsfehler war grösser bei einem beschleunigten Target als bei einem sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegendem Target, obwohl die Endgeschwindigkeit der beiden Targetbewegungen jeweils identisch war. Dieser Unterschied war nicht auf unterschiedliche Reaktionszeiten zurückzuführen, da diese sich nicht in Abhängigkeit der Experimentalbedingungen unterschieden. Die Bewegungsrichtung hatte keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler.

Die hier gefundenen Ergebnisse stehen in klarem Widerspruch zu Finke et al. (1986), die bei gleicher Endgeschwindigkeit keinen Unterschied zwischen den beiden Formen der Objektbewegung fanden. Es kann also durchaus sein, dass durch die Erwartung über die weitere Bewegung bei einem beschleunigten Target eine weitere Beschleunigung antizipiert wird. Bei einem Target, das sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, wird eine Fortführung der konstanten Bewegung erwartet. Das führt zu einer kleineren antizipierten Geschwindigkeit als in der beschleunigten Bedingung. Ein zusätzlicher Faktor, der den Unter-

schied noch verstärken könnte, ist die Tatsache, dass ein Objekt, welches sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, als mit der Zeit langsamer werdend wahrgenommen wird (Runeson, 1974, 1975). Je länger sich ein Target bewegt, desto langsamer ist die subjektiv wahrgenommene Geschwindigkeit, was zu einer Reduktion des Representational Momentums führen könnte.

Unterschiede in der Wahrnehmung von konstanter und beschleunigter Bewegung wurden schon von Rosenbaum (1975) untersucht. Er zeigte, dass die Vorhersage der Position eines sich bewegenden Objekts genauer war, wenn sich das Objekt mit konstanter Geschwindigkeit bewegte, als wenn die Objektgeschwindigkeit beschleunigt war. Dies könnte die Unterschiede in den gefundenen Varianzen erklären, die in dieser Untersuchung auch bei konstanter Targetgeschwindigkeit kleiner waren als bei beschleunigter.

## **2.11 Allgemeine Diskussion - Experiment 1**

Die erste Serie von Experimenten der vorliegenden Arbeit hatte das Ziel, die Entwicklung dynamischer Repräsentationen zu untersuchen. Kinder unterschiedlicher Altersstufen und Erwachsene hatten die Aufgabe, unter verschiedenen Bedingungen die letzte Position eines sich bewegenden Objekts mit dem Finger oder der Spitze eines Plastikstiftes auf einem Touchscreen zu lokalisieren. In Experiment 1.5 sollte die subjektive Mitte einer auf dem Bildschirm präsentierten Linie angezeigt werden.

In Experiment 1.1 konnten die Befunde von Hubbard et al. (1999) repliziert werden. Es zeigte sich ein Entwicklungsverlauf, dass der Lokalisationsfehler mit steigendem Alter kleiner wird. Nur teilweise repliziert werden konnten die von Hubbard und Bharucha (1988) sowie Nagai et al. (2002) gefundenen Effekte der Gravitationskraft. Experiment 1.2 zeigte, dass es beim Benutzen des Touchscreen-Paradigmas zur Untersuchung des Representational Momentums bei Erwachsenen nur einen einzigen Unterschied zwischen der Durchführung der Aufgabe mit einem Plastikstift und mit dem Zeigefinger gab. Dieser bestand darin, dass bei der Durchführung mit dem Finger der Lokalisationsfehler bei horizontaler Targetbewegung von links nach rechts grösser war als von rechts nach links. Das

war bei Experiment 1.1 nicht der Fall. Experiment 1.3 zeigte, dass dies auch bei Kindern der Fall war. Es spielte nur eine geringe Rolle, ob die rechte oder die linke Hand zur Lokalisation benutzt wurde. Ausserdem wurde gezeigt, dass der Lokalisationsfehler bei Kindern, die jünger als sieben Jahre alt waren, nicht mehr anstieg, sondern eher wieder kleiner wurde. In Experiment 1.4 konnte gezeigt werden, dass die bei den Erwachsenen in Experiment 1.2 und 1.3 gefundenen Unterschiede im Lokalisationsfehler, abhängig von der horizontalen Bewegungsrichtung, bei einer Durchführung der Aufgabe mit dem Plastikstift beim Benutzen der rechten Hand gar nicht und beim Benutzen der linken Hand nur tendenziell auftraten. In Experiment 1.5 und den Einführungsdurchgängen der Experimente 1.1, 1.2, 1.3 und 1.4 konnte gezeigt werden, dass der Entwicklungsverlauf der Grösse des Lokalisationsfehlers bei sich bewegenden Objekten nicht durch einen ähnlichen Entwicklungsverlauf der Lokalisation von statischen Objekten und der Lokalisation der subjektiven Mitte einer horizontalen Linie erklärt werden kann. In Experiment 1.6 konnte gezeigt werden, dass die Reaktionszeit in der Grössenordnung, wie sie in den vorigen Experimenten gefunden wurde (ca. 1.0 s), keinen Einfluss mehr auf die Grösse des Lokalisationsfehlers haben kann. Auch bei einer weiteren Verlängerung des Retention-Intervalls verändert sich der Lokalisationsfehler nicht mehr. In Experiment 1.7 konnte der Lokalisationsfehler durch die Präsentation einer Landmarke vergrössert werden. Die Erwachsenen zeigten hier auch bei vertikaler Targetbewegung einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Ein signifikanter Richtungsunterschied zeigte sich allerdings weder in horizontaler noch in vertikaler Bewegungsrichtung. Schliesslich zeigten die Ergebnisse von Experiment 1.8, dass der Lokalisationsfehler kleiner ist, wenn sich das Objekt mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, als wenn sich das Objekt mit beschleunigter Geschwindigkeit bewegt, wobei die Endgeschwindigkeit in beiden Bedingungen jeweils dieselbe war.

### **2.11.1 Entwicklungspsychologie**

In Experiment 1.1 konnten die Ergebnisse bisheriger Befunde von Hubbard et al. (1999) zum grössten Teil repliziert werden. Kinder und Erwachsene zeigten jeweils



einen Lokalisationsfehler in Richtung der vorangegangenen Targetbewegung. Dieser Lokalisationsfehler war in allen Altersstufen grösser, je schneller sich das Target bewegte. Die Grösse des Lokalisationsfehlers war vom Alter abhängig: Die siebenjährigen Kinder zeigten den grössten Lokalisationsfehler, gefolgt von den zehnjährigen Kindern und den Erwachsenen. Dies steht im Widerspruch zu Hubbard und Ruppel (1999), bei denen sich die Grösse des Lokalisationsfehlers der zehnjährigen Kinder nicht von derjenigen der Erwachsenen unterschied. In Experiment 1.3 konnten diese Befunde repliziert werden, indem die Aufgabe mit dem Zeigefinger anstelle des Plastikstiftes durchgeführt wurde. Wieder zeigte sich ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, der mit steigender Targetgeschwindigkeit grösser wurde. Die zusätzlich getesteten fünfjährigen Kinder zeigten keine weitere Vergrösserung des Lokalisationsfehlers. Im Gegenteil: Bei einer Durchführung mit der rechten Hand war der Lokalisationsfehler sogar eher wieder kleiner als bei den siebenjährigen Kindern. Bei der Durchführung mit der linken Hand war der Lokalisationsfehler der Fünfjährigen gleich gross wie derjenige der siebenjährigen Kinder. Auch die zehnjährigen Kinder unterschieden sich nicht von den jüngeren Kindern. Bei einer Durchführung mit der rechten Hand zeigte sich also ein umgekehrt U-förmiger Entwicklungsverlauf. Der Lokalisationsfehler war bei den siebenjährigen Kindern am grössten. Wurde die Aufgabe mit der linken Hand durchgeführt sah es eher nach einer Entwicklungsstufe aus. Die Lokalisationsfehler der Kinder unterschieden sich nicht voneinander. Sie produzierten aber alle einen grösseren Lokalisationsfehler als die Erwachsenen.

Bezüglich der Grundlage der Unterschiede bei horizontaler Targetbewegung zeigen die Befunde von Experiment 1.3 kein eindeutiges Bild. Eine rein motorische Ursache dieser lateralen Asymmetrie kann auf Grund der Daten ausgeschlossen werden. Bei einer Durchführung mit der linken Hand war der Lokalisationsfehler vor allem bei den Kindern grösser, wenn sich das Target nach rechts bewegte. Es scheint eher ein Einfluss der Lese- und Schreibrichtung für den Unterschied der Bewegungsrichtung des Targets verantwortlich zu sein, wobei die einzelnen Einflüsse von Lese- und der Schreibrichtung nicht eindeutig auseinandergehalten werden können. Der Unterschied bei den Erwachsenen, die eine Links-Rechts-

Asymmetrie bei der Durchführung mit der rechten Hand zeigen, aber nicht bei der Durchführung mit der linken Hand, könnte zu dem Schluss führen, dass eine grössere Erfahrung im Schreiben mit der rechten Hand die Ursache für diesen Unterschied im Lokalisationsfehler ist. Dass es aber bei den Kindern genau umgekehrt ist, nämlich ein Unterschied zwischen den Bewegungsrichtungen bei einer Durchführung mit der linken Hand gefunden wird, nicht aber bei einer Durchführung mit der rechten Hand, führt dazu, dass auch der Einfluss der Leserichtung nicht ausgeschlossen werden kann. Für die Schreib-Richtung spricht, dass sich beim Benutzen der rechten Hand ein klarer, wenn auch U-förmiger Entwicklungsverlauf zeigt. Die Kinder der ersten Schulklasse zeigten den grössten Lokalisationsfehler. Dieser wurde mit zunehmendem Alter kleiner.

Eine Frage, die noch im Raum steht, ist warum der Lokalisationsfehler bei Kindern grösser ist als bei Erwachsenen. Eine Vergrösserung des Lokalisationsfehlers kann durch mehrere Ursachen bedingt sein. Erstens führte eine Verlängerung des Retention-Intervalls in bisherigen Studien zu einer Vergrösserung des Lokalisationsfehlers (Freyd & Johnson, 1987; Kerzel, 2000). Allerdings ist eine Vergrösserung des Lokalisationsfehlers in diesen beiden Studien nur bis zu einem Retention-Intervall von ungefähr 300 ms zu finden; danach sinkt die Grösse des Lokalisationsfehlers wieder ab (Freyd & Johnson, 1987) oder sie bleibt konstant (Kerzel, 2000). Die in dieser Untersuchung berichteten Daten zeigen keine Unterschiede in den Reaktionszeiten, die abhängig vom Alter der Versuchspersonen waren. Im Gegenteil, die Reaktionszeit lag über alle Altersgruppen sehr stabil bei ungefähr 1 Sekunde und wuchs zumindest bei den Erwachsenen auch nicht mehr mit einem künstlich verlängerten Retention-Intervall an.

Zweitens stellten Hubbard et al. (1999) die Hypothese auf, dass der grössere Lokalisationsfehler bei Kindern durch eine eher analoge Form der Repräsentation von Bewegung zu Stande kommt, während Repräsentationen bei Erwachsenen eher propositional sind. Mentale Repräsentationen scheinen bei Kindern in der Tat eher in sensorischer, analoger Form zu bestehen (Bruner, Olver, & Greenfield, 1966; Kosslyn, 1978; siehe aber auch Mandler, 1983). Bei einer reinen propositionalen Repräsentation der Objektbewegung dürfte sich kein Lokalisationsfehler

mehr zeigen. Eine Verkleinerung des Lokalisationsfehlers mit steigendem Alter würde eine solche Sicht also unterstützen. Trotzdem zeigt sich ein Lokalisationsfehler auch bei Erwachsenen, und auch weitere Untersuchungen zur mentalen Vorstellung deuten darauf hin, dass mentale Repräsentationen bei Erwachsenen durchaus analog sein können (z.B. Kosslyn, 1980, 1999; Kosslyn & Pomerantz, 1977). Es spricht also einiges gegen eine Erklärung durch den Wandel von analogen zu propositionalen Repräsentationen. Vollständigen Klärung können hier aber nur Ergebnisse weiterer Forschung bringen.

Eine dritte Erklärung könnte ein Entwicklungsverlauf in der Genauigkeit der Antizipation einer Objektbewegung sein. Laut Ashida (2004) kommt der Lokalisationsfehler durch die Transformation visueller Information in ego-zentrische Information im dorsalen Pfad zu Stand. Diese visuelle Information wird zur Ausführung einer Handlung benötigt und wird unabhängig von visueller Information verarbeitet, welche für die Objekterkennung zuständig ist. Visuelle Information zur Objekterkennung wird im ventralen System verarbeitet (siehe auch Milner & Goodale, 1995). Diese Dissoziation zwischen der Verarbeitung visueller Information zur Handlungssteuerung und der Verarbeitung visueller Information zur Wahrnehmung, scheint schon von Geburt an zu bestehen, und die beiden Prozesse scheinen sich unabhängig voneinander zu entwickeln: Kinder können bereits kurz nach der Geburt ihre Kopfbewegungen an einen wahrgenommenen optischen Fluss anpassen (Jouen, Lepecq, Gapenne, & Bertenthal, 2000) oder ihren Arm in Richtung eines sich bewegenden Gegenstandes ausstrecken (Hofsten, 1982). Das dorsale System zur visuellen Handlungssteuerung scheint also zumindest in einer rudimentären Form schon bei der Geburt zu bestehen. Im Gegensatz dazu können Kinder aber bis zu einem Alter von 2 Monaten weder die Geschwindigkeit (Dannemiller & Freedland, 1989, 1991; Wattam-Bell, 1990) noch die Richtung (Wattam Bell, 1996) einer Bewegung wahrnehmen. Das ventrale System zur visuellen Wahrnehmung scheint sich also erst später zu etablieren, zumindest was die Wahrnehmung von Bewegung betrifft. Wird bei Erwachsenen nur das ventrale System zur Lokalisation von Objekten benutzt, wird die Lokalisationsaufgabe also nur auf der Basis visueller Information gelöst (Vergleich mit

einen Referenzreiz), kommt es bei fixierten Augen zu keinem Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung (Kerzel, 2000; Kerzel et al., 2001). Wird aber auch das dorsale System beim Lösen der Aufgabe mitbenutzt (Zeigeaufgabe), zeigt sich ein Lokalisationsfehler unabhängig von den Augenbewegungen. Möglicherweise führt die Entwicklung des ventralen Systems also zu einer Verbesserung der Lokalisation sich bewegender Reize und reduziert damit den Lokalisationsfehler immer mehr, je älter die Versuchspersonen sind. Um aufzuschlüsseln, ob und wie die Entwicklung von dorsalem und ventralem System einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler bei Kindern hat, ist eine Untersuchung zum Representational Momentum geplant, in der Kinder in ähnlichem Alter wie in den Experimenten 1.1 und 1.3 untersucht werden sollen. Es werden Aufgaben präsentiert, in denen die Augen in einer Bedingung fixiert sind und in einer Bedingung nicht. Ausserdem sollen mehrere Formen der Aufgabenstellung wie bei Ashida (2004) sowie bei Kerzel und Gegenfurtner (2003) präsentiert werden um sensomotorische Einflüsse weiter zu überprüfen.

Viertens könnte auch die Theorie von Kerzel und Gegenfurtner (2003) bei der Erklärung der Altersunterschiede eine Rolle spielen. Aus ihrer Sicht handelt es sich beim Lokalisationsfehler um eine Kompensation der neuronal verzögerten Verarbeitung visueller Reize durch das sensomotorische System. Ähnlich wie im vorangegangenen Abschnitt zu ventralem und dorsalem System, könnte auch hier die Entwicklung der Genauigkeit dieser Kompensation eine Rolle spielen und den Lokalisationsfehler mit zunehmendem Alter kleiner werden lassen.

Fünftens könnten die Altersunterschiede durch einen Unterschied in dem Verfolgen eines sich bewegenden Gegenstandes mit einer glatten Augenfolgebewegung entstehen. In einer visuellen Wiedererkennungsaufgabe wurde ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung nur festgestellt, wenn das Objekt mit einer glatten Augenfolgebewegung verfolgt wurde. War dies nicht der Fall, zeigte sich kein Lokalisationsfehler (Kerzel, 2000; Kerzel et al., 2001). Da die Versuchspersonen aller Altersgruppen das sich bewegende Target in der vorliegenden Studie jeweils mit den Augen verfolgt hatten, kann ein Einfluss der Augenbewegungen nicht ausgeschlossen werden. Die Fähigkeit, ein Objekt mit einer glatten Augen-

folgebewegung zu verfolgen, entwickelt sich in den ersten Lebenswochen. Neugeborene verfolgen ein Objekt noch mit aneinander gereihten Sakkaden (Aslin, 1981). Dabei ist nicht klar, ob zumindest ein Teil dieser Augenbewegungen schon glatt ist (Kremenitzer, Vaughan, Kurtzberg, & Dowling, 1979). Ungefähr nach der sechsten Lebenswoche nimmt die Geschwindigkeit nach und nach zu, mit der glatte Augenfolgebewegungen durchgeführt werden können (Aslin, 1981; Shea & Aslin, 1984, 1990). Im Alter von drei Monaten sind die Augen bei einer glatten Augenfolgebewegung entweder direkt auf das Objekt gerichtet, oder leicht davor (Aslin, 1981). Die glatten Augenfolgebewegungen verbessern sich auch bis zu einem Alter von 8 Monaten weiter (Shea & Aslin, 1984). Ross, Radant und Hommer (1993) untersuchten glatte Augenfolgebewegungen bei Kindern zwischen 7 und 15 Jahren. Auch hier zeigte sich eine weitere Verbesserung der Fähigkeit zu glatten Augenfolgebewegungen mit zunehmendem Alter. Ross et al. (1993) verglichen diese Daten aber nicht mit Erwachsenen. Erst in der späten Adoleszenz mit 17 - 18 Jahren erreicht die Fähigkeit, glatte Augenfolgebewegungen durchzuführen das Stadium Erwachsener (Katsanis, Iacono, & Harris, 1998). Gerade die örtliche und zeitliche Genauigkeit der glatten Augenfolgebewegungen verbessert sich noch in diesem Alter. Der in der vorliegenden Studie gefundene Unterschied könnte möglicherweise auch durch unterschiedlich genaue glatte Augenfolgebewegungen erklärt werden. Auch diese Frage wird in einer folgenden Studie untersucht werden.

Sechstens könnte man versuchen, den im Experiment 1.3 gefundenen umgekehrt U-förmigen Entwicklungsverlauf im Lokalisationsfehler wie folgt zu erklären: Durch das Erlernen des Schreibens in der ersten Schulklasse werden womöglich neue motorische Programme aktiviert. Auf eine grundlegende Veränderung der benutzten sensomotorischen Strategien in diesem Alter ist in unterschiedlichen Studien schon hingewiesen worden (Hay, 1978, 1979; Pellizzer & Hauert, 1996). Kinder benutzen ab diesem Alter ähnliche Strategien in ihrem Zeigeverhalten wie Erwachsene. Ab einem Alter von sieben Jahren verbessert sich nur noch die Genauigkeit des Zeigeverhaltens. Es könnte also sein, dass Kinder, die jünger als sieben Jahre sind, bereits gut trainierte Zeigefähigkeiten besitzen.

Durch den Erwerb einer neuen Strategie (in Zusammenhang mit dem Schreiben?) wird diese Fähigkeit kurzzeitig wieder schlechter und verbessert sich dann bis zum Erwachsenenalter.

Mit dem siebten und letzten Punkt wird der Bogen zurück zur ursprünglichen Erklärung des Representational Momentums gespannt. Freyd und Johnson (1987) sahen im Representational Momentum eine implizite Abbildung unseres Wissens über Objektbewegung. Das Representational Momentum könnte also quasi als implizites Mass zur Messung der wahrgenommenen Geschwindigkeit verwendet werden. Ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, der bei Kindern grösser ist als bei Erwachsenen, könnte also bedeuten, dass jüngere Kinder eine Objektbewegung als schneller wahrnehmen als ältere Kinder und Erwachsene, die Geschwindigkeit des Objekts also implizit überschätzen. Solche Überschätzungen physikalischer Grössen wurden auch in anderen Bereichen der intuitiven Physik bereits festgestellt. Bei der Einschätzung eines Gewichtes auf einem Kraftmessgerät überschätzten Kinder im durchschnittlichen Alter von 6 Jahren das Gewicht ungefähr um das Dreifache (Frick, Daum, & Wilkening, 2004; Rauch, Daum, Frick, & Wilkening, 2003). Ähnliche Effekte wurden in Studien zum Auftrieb (Caviezel, Daum, & Frick, 2004) und zur Balkenwaage (Frick et al., 2004) gefunden. Nach Freyd und Johnson (1987) unterliegen unsere mentalen Repräsentationen ebenfalls den Gesetzen der realen, zumindest aber der naiven Physik. Womöglich von Geburt an internalisierte physikalische Gesetze werden im Laufe der Entwicklung durch Erfahrung mit der Umwelt verändert oder verfeinert. Die bei Kindern gefundenen Überschätzungen unterschiedlicher physikalischer Grössen lassen sich möglicherweise auf eine Entwicklung zurückführen, denen die verinnerlichten physikalischen Gesetze unterliegen, welche unsere mentalen Repräsentationen beeinflussen.

Auch die bei den Erwachsenen gefundenen Unterschiede zwischen Objektbewegung nach rechts und nach links lassen sich anhand unterschiedlich wahrgenommener Objektgeschwindigkeiten erklären: Eine Bewegung nach rechts wird als beschleunigt wahrgenommen und eine Bewegung nach links als abgebremst (Gaffron, 1950; Hansen, 1978 (zitiert in Halpern & Kelly, 1993)). Ausserdem

wird ein Objekt, welches sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, mit der Zeit langsamer wahrgenommen (Runeson, 1974, 1975). Dies kann dazu führen, dass eine Bewegung nach rechts schneller wahrgenommen wird als eine Bewegung nach links. Eine schnellere Objektbewegung führt zu einem grösseren Lokalisationsfehler, und das könnte den Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen den beiden horizontalen Bewegungsrichtungen erklären. Die in Experiment 1.8 gefundenen Unterschiede zwischen konstanter und beschleunigter Objektgeschwindigkeit unterstützen diese Hypothese, dass Unterschiede im Lokalisationsfehler bei sich gleich schnell bewegenden Objekten durch Effekte von subjektiver Wahrnehmung und Erwartung zu Stande kommen können. Die Wahrnehmung von Bewegung und Geschwindigkeit unterliegt also durchaus kognitiven Einflüssen. Das könnte dazu führen, dass auch der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, der abhängig ist von der wahrgenommenen Objektgeschwindigkeit, durch solche kognitiven Einflüsse auf die Wahrnehmung von Objektgeschwindigkeit beeinflusst werden kann.

### 2.11.2 Gravitation

Die Gravitationseffekte auf den Lokalisationsfehler, die von Hubbard und Bharucha (1988) sowie Nagai et al. (2002) beschrieben wurden, konnten in der vorliegenden Studie nur teilweise repliziert werden. Bei horizontaler Targetbewegung zeigte sich, wie bei Hubbard und Bharucha (1988), neben dem Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung auch ein Lokalisationsfehler in Richtung der Gravitation. Dieser wurde allerdings nur bei den siebenjährigen Kindern und den Erwachsenen gefunden. Bei den zehnjährigen Kindern unterschied sich die y-Abweichung des Lokalisationsfehlers nur unsystematisch von Null und wenn überhaupt, dann entgegen der Gravitationsrichtung.

Bei vertikaler Targetbewegung zeigte sich bei den Erwachsenen gar kein Lokalisationsfehler mehr. Bei den zehnjährigen Kindern war der Lokalisationsfehler grösser bei sich aufwärts bewegenden Objekten, also entgegen der Gravitationsrichtung. Nur bei den siebenjährigen Kindern war der Lokalisationsfehler bei einer Targetbewegung nach unten grösser als bei einer Targetbewegung nach

oben.

Eine Veränderung der Position des Bildschirms und der Körperlage der Versuchspersonen, die bei den Erwachsenen zusätzlich variiert wurde, zeigte keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler in vertikaler Richtung. Bei horizontaler Objektbewegung zeigte sich allerdings ein deutlicher Unterschied: Bei aufrechtem Bildschirm und Körper zeigte sich neben dem Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung auch eine Verschiebung in Richtung der Gravitationskraft. Bei horizontalem Körper und Bildschirm war dies nicht der Fall.

Wenn der Lokalisationsfehler durch das Hinzufügen einer Landmarke vergrößert wurde, zeigte sich immerhin auch in vertikaler Bewegungsrichtung ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, der mit steigender Targetgeschwindigkeit grösser wurde. Dieser war aber nicht bei einer Targetbewegung nach unten grösser als bei einer Targetbewegung nach oben. Schaut man sich die Daten in Abbildung 31 an, könnte eher das Gegenteil der Fall sein: Der Lokalisationsfehler ist bei einer Objektbewegung nach oben grösser als bei einer Bewegung nach unten. Eine spekulative Erklärung, warum bei horizontaler Objektbewegung ein Effekt der Gravitationskraft gefunden wurde, bei vertikaler Objektbewegung jedoch nicht, nicht könnte folgende sein: Ein Objekt, welches sich in unserer natürlichen Umwelt mit konstanter Geschwindigkeit vertikal bewegt, muss bei einer Abwärtsbewegung gebremst und bei einer Aufwärtsbewegung beschleunigt werden. In jedem Fall muss andauernd eine Kraft auf das Objekt wirken, um der Gravitationskraft entgegenzuwirken. Bei der Durchführung der Aufgabe, die letzte Position eines Objekts mit der Hand auf dem Bildschirm anzuzeigen, wird ein motorisches Programm aktiviert, um diese Aufgabe durchzuführen. Dieses motorische Programm muss auch die Kraft steuern, die es braucht, den Finger zum Bildschirm zu bewegen. Es wird also auch eine Repräsentation der Kraft benutzt, um die Aufgabe zu lösen, welche in irgendeiner Form mit der wahrgenommenen Kraft, die auf das sich bewegende Objekt wirkt, interagieren könnte. Allenfalls könnte auch hier der gefundene Entwicklungsverlauf durch eine Veränderung der Zusammenarbeit von dorsalem und ventralem System mit zunehmendem Alter beeinflusst werden, wie schon im Abschnitt über Entwicklungspsychologie



(siehe Seite 143) beschrieben wurde. Dieser Versuch einer Erklärung bleibt allerdings spekulativ, und bedarf weiterer Untersuchungen.

### **2.11.3 Methodik**

Das von Ashida (2004) sowie Kerzel und Gegenfurtner (2003) als erste beschriebene Touchscreen-Paradigma zur Untersuchung des Representational Momentums konnte in dieser Untersuchung erfolgreich mit Kindern von 5-10 Jahren angewandt werden. Die bisherigen entwicklungspsychologischen Befunde, welche die letzte Position eines Objekts mit dem Cursor der Computermouse anzeigen liessen, konnten repliziert werden: Es wurde ein Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung gefunden, und dieser war in jeder Altersgruppe grösser, je schneller sich das Objekt bewegte. Es machte dabei nur einen geringen Unterschied, ob die Lokalisationsaufgabe mit dem Zeigefinger oder mit der Spitze eines Plastikstiftes durchgeführt wurde. Die gleich langen Reaktionszeiten bei Kindern und Erwachsenen zeigen, dass Kindern die Aufgabe nicht prinzipiell schwerer fällt, und dass die gefundenen Altersunterschiede im Lokalisationsfehler nicht auf Grund komplett anderer Voraussetzungen der Aufgabe für Kinder und Erwachsene zu Stande kommen.

### **2.11.4 Linien-Halbierungs-Aufgabe**

In der ebenfalls durchgeführten Linien-Halbierungs-Aufgabe, in der die Mitte einer horizontalen Linie auf dem Bildschirm angezeigt werden sollte, zeigte sich folgender Entwicklungsverlauf: Bei Rechtshändern, welche die Aufgabe mit der rechten Hand durchführten, wurde die subjektive Mitte von Kindern im Alter von fünf bis sieben Jahren eher zu weit rechts von der objektiven Mitte eingetragen. Im Alter von zehn Jahren wurde die Mitte relativ genau lokalisiert, während sie von den Erwachsenen zu weit links eingetragen wurde. Dieser Entwicklungsverlauf konnte bei einer Durchführung mit der linken Hand nicht gefunden werden: Die subjektive Mitte der Linie unterschied sich bei den fünf- und siebenjährigen Kindern nicht von Null, während die zehnjährigen Kinder und die Erwachsenen sie jeweils zu weit links positionierten.

Die in der Lokalisationsaufgabe bewegter Objekte vor allem bei den Erwachsenen, weniger aber bei den Kindern gefundenen Unterschiede zwischen den horizontalen Bewegungsrichtungen lassen sich nicht durch lateral asymmetrische Aufmerksamkeitsprozesse erklären, wie die Aufgaben zur Linien-Halbierungsaufgabe zeigten. Es zeigten sich keine Parallelen in dieser Aufgabe zur Lokalisation von sich bewegenden Objekten. Wenn dies der Fall wäre, müsste erwartet werden, dass Kinder das Target allgemein eher zu weit rechts lokalisieren, also bei einer Bewegungsrichtung nach rechts einen grösseren Lokalisationsfehler machen als nach links. Die zehnjährigen Kinder müssten zumindest mit der rechten Hand keinen Unterschied zwischen den Bewegungsrichtungen zeigen und die Erwachsenen müssten einen grösseren Lokalisationsfehler bei einer Bewegung nach links als nach rechts zeigen. Die Lokalisationsfehler der Erwachsenen sind aber gerade dem entgegen gerichtet. Die Lokalisation eines sich bewegenden Objekts scheint also kognitiv anders verarbeitet zu werden als die Lokalisation statischer Objekte und die Lokalisation der Mitte einer horizontalen Linie.

## 3 Konzeptuelles Wissen über das zu lokalisierende Objekt

### 3.1 Einführung

Im zweiten Teil der vorliegenden Arbeit soll der kognitive Einfluss konzeptuellen Wissens über das sich bewegende Objekt auf das Representational Momentum untersucht werden. Im Kapitel 1.3.4 (ab Seite 50) wurden die kognitive Penetrabilität und der Einfluss von konzeptuellem Wissen bereits ausführlich erläutert. Deswegen werden hier nur noch kurz einige der wichtigsten Befunde aufgelistet, um das folgende Experiment einzuleiten.

Schon Hubbard und Bharucha (1988) konnten zeigen, dass die Erwartung über die Bewegungstrajektorie eines Objekts einen Einfluss auf das Representational Momentum hat. Bei einem Objekt, welches sich oszillierend zwischen zwei Punkten hin- und her bewegte, war der Lokalisationsfehler an den jeweiligen Endpunkten der Bewegungstrajektorie nicht mehr in Richtung der vorangegangenen Objektbewegung gerichtet, sondern dieser entgegen, in Richtung der zukünftigen Objektbewegung. Aber nicht nur das Wissen über den zukünftigen Verlauf einer Bewegung spielt bei der Lokalisation eine Rolle, sondern auch das konzeptuelle Wissen über die Funktion eines sich bewegenden Objekts. Reed und Vinson (1996) zeigten, dass der Lokalisationsfehler bei einem als Rakete bezeichneten Objekt grösser war, als beim gleichen Objekt, wenn es als Kirchturm bezeichnet wurde. Dabei spielt das Aussehen des Objekts eine untergeordnete Rolle. Vielmehr scheint es, dass das Wissen über die Objektfunktion ausreicht, um den Lokalisationsfehler zu beeinflussen (Vinson & Reed, 2002).

Reed und Vinson verglichen in beiden Studien jeweils unterschiedliche Objekte: Eines konnte sich üblicherweise bewegen und wurde meistens auch schon in Bewegung gesehen (eine Rakete). Das andere bewegte sich normalerweise nicht (ein Kirchturm<sup>8</sup>). Durch den Vergleich zweier unterschiedlicher Objekte könnte nicht nur unterschiedliches konzeptuelles Wissen über die Bewegung eine Rolle

---

<sup>8</sup>Es gibt zwar auch Beispiele sich bewegender Kirchtürme: Der Campanile auf der Piazza San Marco in Venedig zum Beispiel, der im Jahre 1902 umfiel. In der Regel stehen sie aber unerschütterlich aufrecht und bewegen sich nicht.

gespielt haben. Es könnten auch Unterschiede im Wissen über 1) das Gewicht der Objekte (ein Kirchturm ist womöglich schwerer als eine Rakete), 2) deren Luftwiderstand (eine Rakete aus Metall hat womöglich einen geringeren Luftwiderstand als ein Kirchturm aus rauhem Stein) oder 3) die Verankerung im Boden (eine Rakete ist nicht verankert im Boden, ein Kirchturm ruht auf einem fest im Boden verankerten Fundament) die unterschiedlichen Lokalisationsfehler verursacht haben. Diese Gründe sind eher physikalischer und weniger, wie von Reed und Vinson behauptet, rein konzeptioneller Natur. Auch diese Unterschiede beruhen auf konzeptionellem Wissen über ein Objekt, aber in diesem Fall auf den verinnerlichten physikalischen Gesetzen, wie sie von Freyd und Finke (1984) ursprünglich als Grundlage für das Representational Momentum angenommen wurden. Es kann hier durch die Verschiedenheit der Objekte nicht definitiv aufgeschlüsselt werden, was den Ausschlag für den Unterschied im Lokalisationsfehler ausmacht. Um dies zu vermeiden, sollten im vorliegenden Experiment nicht unterschiedliche Objekte lokalisiert werden, sondern nur ein Objekt. Damit sich ein Unterschied im konzeptuellen Wissen über dieses Objekt überhaupt zeigen konnte, wurde das Wissen des Beobachters über die Absicht des sich bewegenden Objekts variiert. Das Objekt sollte sich entweder auf ein attraktives Ziel zu bewegen oder auf ein abstossendes Ziel. Wie eine Maus, die sich entweder auf ein Stück Käse oder eine Katze zu bewegt.

### **3.2 Experiment 2.1 - Variation der Intention eines sich bewegenden Objekts - Die Maus will zum Käse und nicht zur Katze**

In Experiment 2.1 wurde die Aufgabe konkret dargestellt, um das Verständnis der Aufgabe zu erleichtern. Auf dem Computerbildschirm bewegte sich eine virtuelle Maus horizontal entweder auf ein Stück Käse zu, ein für die Maus attraktives Ziel, oder sie bewegte sich auf eine Katze zu, ein für die Maus sehr unattraktives Ziel.

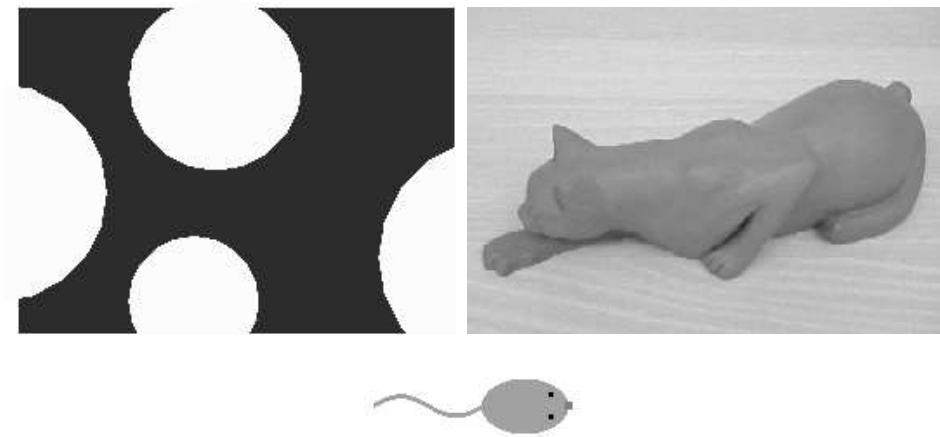


Abbildung 33: Darstellung der Stimuli aus Experiment 2.1: Attraktives Zielobjekt (Käse, oben links), abstossendes Zielobjekt (Katze, oben rechts) und Target (Maus, unten Mitte).

### 3.2.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (6 Frauen und 4 Männer, Durchschnittsalter: 21;10, Altersbereich: 18;8 bis 26;6). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Der benutzte Versuchsaufbau (Versuchsraum, Computer, Bildschirm) war identisch mit demjenigen aus Experiment 1. Es wurde zur Durchführung der Versuche wieder das Touchscreen-Paradigma verwendet (Die genauen Angaben können in Kapitel 2.2.1, auf Seite 64 nachgelesen werden).

In der Experimentalbedingung bewegte sich eine Maus horizontal über den Bildschirm auf ein attraktives Zielobjekt (ein Stück Käse) oder ein abstossendes Zielobjekt (eine Katze) zu und verschwand ungefähr in der Mitte des Bildschirms. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, die letzte Position der Maus mit der Spitze eines Plastikstiftes direkt auf dem Bildschirm zu lokalisieren.

Die Maus war braun gefärbt (RGB-Wert: 125, 107, 0), und hatte eine

Gesamtlänge von 3.4 cm wovon 1.5 cm der Körper und 1.9 cm der Schwanz waren. Sie hatte zwei schwarze Augen (Durchmesser = 10 mm) und eine rote Nase (RGB-Wert: 255, 0, 0; Durchmesser = 16 mm). Das attraktive Zielobjekt war ein virtuelles Stück Käse (siehe Abbildung 33, links). Es war gelb (RGB-Wert: 240, 220, 60), 6.5 cm breit und 4.9 cm hoch war und 0.4 cm von dem der Startposition der Maus gegenüberliegenden Bildschirmrand entfernt präsentiert wurde. Das abstossende Zielobjekt war das Bild einer Katze (siehe Abbildung 33, rechts) und war 6.6 cm breit und 4.8 cm hoch. Es wurde 0.0 cm von dem der Startposition der Maus gegenüberliegenden Bildschirmrand entfernt präsentiert. Die Distanz von der Startposition der Maus zum Zielobjekt betrug 22.9 cm. Die Maus erschien gleichzeitig mit dem Käse, blieb 1.0 s statisch an Ort und bewegte sich dann horizontal mit einer konstanten Geschwindigkeit von 4.0 cm/s, 8.0 cm/s oder 12.0 cm/s auf das Zielobjekt zu. Die Maus verschwand an einer von drei unterschiedlichen Positionen, entweder in der Mitte des Bildschirms, 16.75 cm vom linken und vom rechten Bildschirmrand entfernt, 1.3 cm links vom horizontalen Bildschirmzentrum oder 1.3 cm rechts vom horizontalen Bildschirmzentrum entfernt. Zeitgleich mit der Maus verschwand auch das Zielobjekt. Die Reihenfolge der Darbietung der unterschiedlichen Zielobjekte, Bewegungsrichtungen, Geschwindigkeiten und Verschwindepositionen war zufällig variiert (für eine schematische Darstellung des Versuchsablaufs siehe Abbildung 34).

**Prozedur.** Zu Beginn jeder Bedingung wurden den Versuchspersonen 2 x 10 statische Einführungsdurchgänge präsentiert. In den ersten 10 Durchgängen erschien die Maus an einer zufällig ausgewählten Position auf dem Bildschirm. Sie war von jeweils abwechselungsweise nach links oder nach rechts gerichtet. Die Versuchspersonen sollten mit der Spitze des Plastikstift die rote Nase der Maus markieren. Die nächsten 10 Einführungsdurchgänge waren den ersten sehr ähnlich. Der einzige Unterschied war, dass die Maus nach 1.0 s verschwand. Die Versuchspersonen sollten die Position anzeigen, an der die rote Nase der Maus zu sehen war.

Nach diesen statischen Versuchsdurchgängen wurden den Versuchspersonen

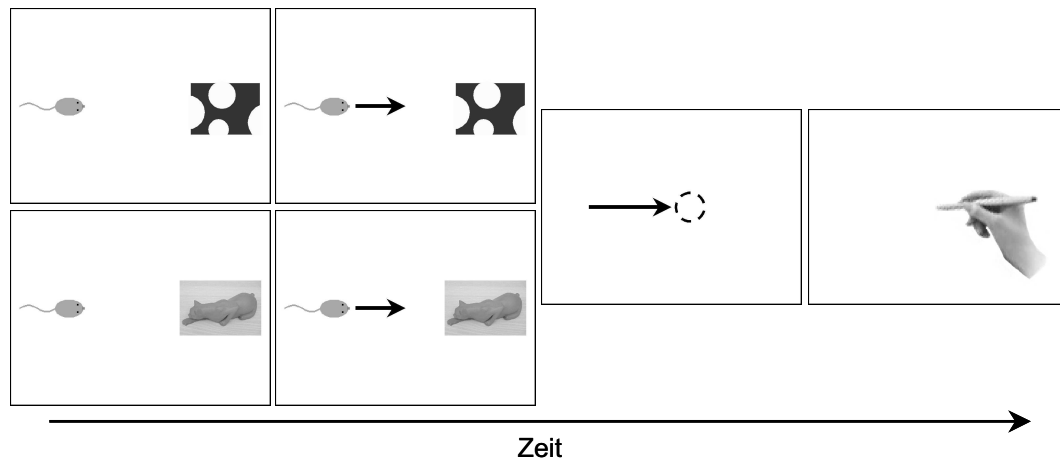


Abbildung 34: Schematische Darstellung der Experimentaldurchgänge von Experiment 2.1. Das Target (Maus) bewegte sich entweder auf ein attraktives Zielobjekt (Käse) oder ein abstossendes Zielobjekt (Katze) zu.

sonen die Experimentalbedingung präsentiert, in der sich die Maus auf das Zielobjekt zu bewegte und verschwand. Diese Experimentalbedingung wurde mit 10 Probedurchgängen eingeführt, die zufällig aus den Experimentaldurchgängen ausgewählt wurden. Anhand dieser Probedurchgänge wurde die Experimentalbedingung erläutert. Zusätzlich erhielten die Versuchspersonen eine mündliche und schriftliche Instruktion. Die schriftliche Information lautete folgendermassen: *Die Aufgabe, die Du im Folgenden lösen wirst, besteht aus der Lokalisation einer sich bewegenden, kleinen Maus. Nach zwei kurzen Einführungsdurchgängen werden neben der zu lokalisierenden Maus ein Stück Käse oder eine Katze zu sehen sein. Die Katze stellt ein abstossendes Objekt dar, von der Katze fühlt sich die Maus abgestossen, da will sie auf gar keinen Fall hin. Der Käse stellt ein anziehendes Objekt dar. Vom Käse fühlt sich die Maus angezogen, da möchte es gerne hin.*

Es folgten insgesamt 72 Experimentaldurchgänge (2 Attraktivitäten des Zielobjekts x 2 Bewegungsrichtungen x 3 Targetgeschwindigkeiten x 3 Verschwindpunkte x 2 Messwiederholungen). Insgesamt führten die Versuchspersonen mit den Einführungsdurchgängen 102 Versuchsdurchgänge durch. Die Dauer des Experimentes betrug pro Versuchsperson ungefähr 20 Minuten.

### 3.2.2 Resultate

Gemessen wurden wie in den Experimenten 1.1 bis 1.8 die Abweichung der von der Versuchsperson lokalisierten letzten Position des Targets zu der tatsächlichen letzten Position (Lokalisationsfehler) und die Zeit zwischen dem Verschwinden des Targets und der Lokalisation der Versuchsperson (Reaktionszeit). Dazu wurde der Zeitpunkt genommen, an dem die Versuchsperson mit der Spitze des Plastikstiftes den Bildschirm berührte. Die Daten der Lokalisationsfehler wurden wie in Experiment 1 pro Versuchsperson mit den gemittelten Abweichungen aus den ersten zehn statischen Einführungsdurchgängen korrigiert, um allfällige systematische Fehler zu eliminieren. Mit diesen korrigierten Daten und den Reaktionszeiten wurde jeweils eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Attraktivität des Zielobjekts (attraktiv vs. abstossend), Bewegungsrichtung des Targets und Targetgeschwindigkeit sowie dem Zwischensubjektfaktoren Geschlecht.

**Lokalisationsfehler.** Das Geschlecht der Versuchspersonen hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .59, \eta^2 = .04$ ). Dieser Faktor wurde nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Die Daten der Lokalisationsfehler sind in Abbildung 35 dargestellt. Die Attraktivität des Zielobjekts hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 9) = 2.74, p = .13, \eta^2 = .23$ ). Das relativ hohe  $\eta^2$  zeigt eine Tendenz an, dass der Lokalisationsfehler beim attraktivem Zielobjekt grösser war, als beim abstossendem. Die Bewegungsrichtung hatte keinen signifikanten Effekt auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 9) = 1.16, p = .31, \eta^2 = .11$ ). Der Lokalisationsfehler wurde grösser, je schneller sich das Target bewegte ( $F(2, 18) = 24.08, p < .001, \eta^2 = .73$ ). Von den Interaktionen war nur diejenige von Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit signifikant ( $F(2, 18) = 7.82, p < .01, \eta^2 = .47$ ). Bei einer Targetbewegung von links nach rechts war der Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen dem attraktiven Zielobjekt und dem abstossenden Zielobjekt am geringsten wenn sich die Maus mit einer Geschwindigkeit von 8.0 cm/s bewegte. Bei einer Targetbewegung von



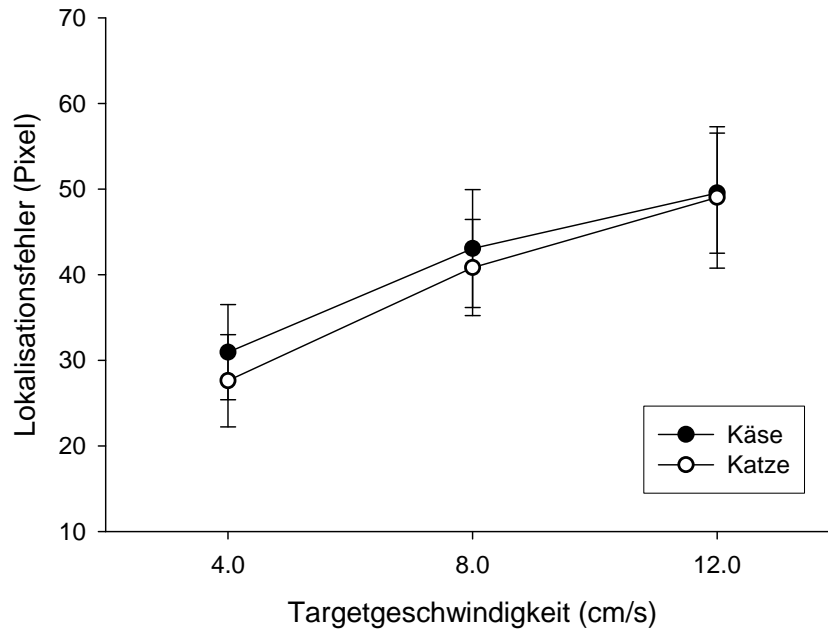


Abbildung 35: Resultate von Experiment 2.1. Lokalisationsfehler über die drei Geschwindigkeiten der Maus in Abhängigkeit der Attraktivität des Zielobjekts (Käse = attraktiv, Katze = abstoßend). Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

rechts nach links war der Unterschied am geringsten bei einer Targetgeschwindigkeit von 12.0 cm/s.

Die weiteren Interaktionen waren nicht signifikant (Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .82$ ,  $\eta^2 = .01$ , Attraktivität des Zielobjekts x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .79$ ,  $\eta^2 = .03$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .46$ ,  $\eta^2 = .08$ ).

**Reaktionszeit.** In dieser Bedingung hatte das Geschlecht der Versuchspersonen einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 8) = 11.36, p < .05$ ,  $\eta^2 = .59$ ). Die männlichen Versuchspersonen hatten höhere Reaktionszeiten als die weiblichen. Dieser Faktor wurde nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Auch die Attraktivität des Zielobjekts hatte einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ( $F(1, 9) = 9.78, p < .05$ ,  $\eta^2 = .52$ ). Bei einem attraktiven

Zielobjekt war die Reaktionszeit höher als bei einem abstossenden Zielobjekt. Die Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .72, \eta^2 = .02$ ) und die Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 18) = 2.29, p = .13, \eta^2 = .20$ ) hatten keinen signifikanten Effekt auf die Reaktionszeiten. Allenfalls tendenziell war die Reaktionszeit bei einer Targetgeschwindigkeit von 12.0 cm/s am grössten. Die Interaktionen der Innersubjektfaktoren waren alle nicht signifikant (Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung:  $F(1, 9) = 2.75, p = .13, \eta^2 = .23$ , Attraktivität des Zielobjekts x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .87, \eta^2 = .02$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 18) = 1.64, p = .22, \eta^2 = .15$ , Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .74, \eta^2 = .03$ ). Allenfalls tendenziell waren die Reaktionszeiten grösser bei einem attraktiven Zielobjekt als bei einem abstossenden Zielobjekt bei der Bewegungsrichtung des Targets von rechts nach links. Bei einer Bewegungsrichtung von links nach rechts unterschieden sich die Reaktionszeiten nicht in Abhängigkeit der Attraktivität des Zielobjekts.

### 3.2.3 Diskussion

Die im ersten Teil und auch in früheren Arbeiten gefundenen Effekte der Geschwindigkeit, dass der Lokalisationsfehler grösser wird, je schneller sich das Target bewegt, konnten auch in dieser Bedingung repliziert werden. Die Bewegungsrichtung hatte keinen Effekt auf den Lokalisationsfehler.

Bezüglich der Attraktivität des Zielobjekts zeigte sich eine deutliche ( $\eta^2 = .23$ ), wenn auch nicht signifikante ( $p = .13$ ) Tendenz, einen grösseren Lokalisationsfehler bei einem attraktiven Zielobjekt zu machen als bei einem abstossenden. Ein Unterschied zwischen den Attraktivitäten zeigte sich auch in den Reaktionszeiten, die beim attraktiven Zielobjekt höher waren als beim abstossenden.

Die fehlende Signifikanz im Unterschied der beiden Attraktivitäten könnte einerseits damit erklärt werden, dass es womöglich keinen Effekt der Attraktivität auf den Lokalisationsfehler gibt. Damit wäre dieser Teil der Arbeit hiermit auch schon wieder beendet. Andererseits sprechen die Effektstärke und einige methodische Faktoren eher für einen Effekt, der bei Behebung der methodi-

schen Probleme möglicherweise gefunden werden kann. Erstens war die Anzahl der Messwiederholungen in diesem Experiment mit sechs pro Bedingung eher klein, wenn man die Grösse des Unterschieds zwischen den beiden Attraktivitäten betrachtet, die bei ungefähr fünf Pixeln liegt. Es kann sein, dass bei einer solchen geringen Anzahl der Messwiederholungen die Varianz in den Daten zu gross ist, um einen signifikanten Effekt zu erhalten. Zweitens unterschieden sich die Bilder von Katze und Käse sowohl leicht in der Grösse als auch in Helligkeit und Farbe voneinander. Das war nicht zu vermeiden, schliesslich sollten Katze und Käse doch visuell voneinander unterscheidbar sein. Im folgenden Experiment sollten diese methodischen Mängel behoben und die Fragestellung in einer abstrakten Form noch einmal untersucht werden.

### **3.3 Experiment 2.2 - Variation der Intention eines sich bewegenden Objekts - Abstrakte Version von Experiment 2.1**

In Experiment 2.2 wurde den Versuchspersonen im Prinzip die gleiche Aufgabe wie in Experiment 2.1 gestellt: Ein Target bewegte sich horizontal auf ein attraktives oder abstossendes Zielobjekt zu, verschwand, und die Versuchspersonen sollten die letzte Position des Targets auf dem Bildschirm anzeigen. In Experiment 2.2 wurde die Maus durch ein kreisförmiges Objekt (Target) ersetzt und Katze und Käse durch ein rechteckiges Zielobjekt, welches zwei unterschiedliche Farben annehmen konnte. Die eine Farbe sollte ein attraktives Zielobjekt symbolisieren, die andere Farbe ein abstossendes Zielobjekt. Ein weiterer Unterschied zu Experiment 2.1 war, dass die Anzahl der Versuchsdurchgänge und der Versuchspersonen vergrössert wurde, um die statistische Power zu erhöhen.

#### **3.3.1 Methode**

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer von Experiment 2.2 waren 20 erwachsene Versuchspersonen (12 Frauen und 8 Männer, Durchschnittsalter: 27;9, Altersbereich: 20;11 bis 63;3). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen,

teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Der Versuchsaufbau war demjenigen aus Experiment 2.1 sehr ähnlich. Im Unterschied dazu war das sich bewegende und zu lokalisierende Target keine Maus, sondern ein kreisförmiges Target. Dieses bewegte sich in der Experimentalbedingung horizontal über den Bildschirm und verschwand ungefähr in der Mitte des Bildschirms. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, die letzte Position des Targets mit der Spitze eines Plastikstiftes direkt auf dem Bildschirm zu lokalisieren (für eine schematische Darstellung des Versuchsaufbaus siehe Abbildung 36). Das Target hatte einen Aussendurchmesser von 4.5 mm und ein schwarzes Zentrum mit einem Durchmesser von 1.3 mm. Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit und Verschwindepunkte waren identisch mit denjenigen aus Experiment 2.1.

Das Zielobjekt, auf welches sich das Target zu bewegte, war ebenfalls kein konkretes Bild einer Katze oder eines Käses mehr, sondern ein rechteckiges Feld das in der Hälfte der Versuchsdurchgänge blau (RGB-Wert: 77, 77, 255) war, in der anderen Hälfte orange (RGB-Wert: 255, 102, 0). Die Reihenfolge der Präsentation der beiden Farben war zufällig. Das Zielobjekt war 6.5 cm breit und 14.1 cm hoch und 0.4 cm vom näheren seitlichen Bildschirmrand entfernt. Die Hälfte der Versuchspersonen erhielt die Information, dass das orange Zielobjekt ein attraktives und das blaue Zielobjekt ein abstossendes Zielobjekt darstellt. Die andere Hälfte der Versuchspersonen erhielt die umgekehrte Information: Hier war das blaue Zielobjekt als attraktiv und das orange als abstossend bezeichnet.

Um zu vermeiden, dass Farbeffekte von Target und Zielobjekt den Lokalisationsfehler beeinflussen wurde die Farbe des Targets variiert, im ersten Experimentalblock war das Target weiss (RGB-Wert: 255, 255, 255), in den beiden folgenden dann blau (RGB-Wert: 77, 77, 255) und orange (RGB-Wert: 255, 102, 0). Die Reihenfolge der Farben des Targets im zweiten und dritten Experimentalblock war ausbalanciert.

**Prozedur.** Nach den zwei mal 10 statischen Versuchsdurchgängen wurden den Versuchspersonen die drei Experimentalblöcke präsentiert. Diese waren gleich aufgebaut; variiert wurde jeweils nur die Farbe des Targets.

Jeder Block wurde mit 10 zufällig aus den Experimentaldurchgängen ausgewählten Probedurchgängen eingeführt, anhand derer die Experimentalbedingung erläutert wurde. Zusätzlich erhielten die Versuchspersonen wiederum eine mündliche und schriftliche Instruktion. Die schriftliche Instruktion wurde an die neuen Targets angepasst und lautete nun wie folgt: *Die Aufgabe, die Du im Folgenden lösen wirst, besteht aus der Lokalisation eines sich bewegendes, runden, blauen Targets. Nach zwei kurzen Einführungsdurchgängen wird neben dem zu lokalisierenden weissen (bzw. orangen/blauen) Target ein farbiges Feld auf dem Bildschirm zu sehen sein. Eines davon ist blau, das andere orange. Das ORANGE Feld stellt das HEIMATFELD dar, von dem orangen Feld fühlt sich das weisse (bzw. blaue/orange) Target angezogen, da möchte es gerne hin. Das BLAUE Feld stellt ein FEINDLICHES Feld dar. Vom blauen Feld fühlt sich das weisse (bzw. orange/blaue) Target abgestossen, da will es auf gar keinen Fall hin.* Es folgten insgesamt 72 Experimentaldurchgänge (2 Attraktivitäten des Zielobjekts x 2 Bewegungsrichtungen x 3 Targetgeschwindigkeiten x 3 Verschwindenpunkte x 2 Messwiederholungen).

Insgesamt führten die Versuchspersonen in den drei Experimentalblöcken 306 Versuchsdurchgänge durch, die Dauer des Experimentes betrug pro Versuchsperson ungefähr 45 Minuten.

### 3.3.2 Resultate

Die Resultate wurden gleich ausgewertet wie in Experiment 2.1.

**Lokalisationsfehler.** Die Daten der Lokalisationsfehler von Experiment 2.2 sind in der Abbildung 37 dargestellt. Das Geschlecht der Versuchspersonen hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers ( $F(1, 18) = 2.26, p = .15, \eta^2 = .11$ ). Auch ob das orange Zielobjekt attraktiv war oder das blaue Zielobjekt, hatte keinen signifikanten Einfluss ( $F < 1, p = .62, \eta^2 = .01$ ),

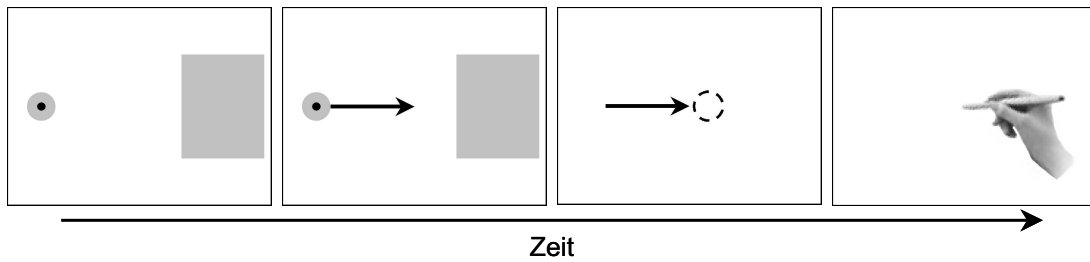


Abbildung 36: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus von Experiment 2.2: Ein kreisförmiges Target (weiss, orange oder blau) startete nach 1.0 s, und bewegte sich auf ein Zielobjekt zu (orange oder blau). Target und Zielobjekt verschwanden zeitgleich, die Aufgabe der Versuchspersonen war es, die letzte Position des Targets mit der Spitze eines Plastikstiftes direkt auf dem Bildschirm anzuzeigen.

ebensowenig wirkte sich die Farbe des Targets auf den Lokalisationsfehler aus ( $F(2, 38) = 1.66, p = .20, \eta^2 = .08$ ). Diese Faktoren wurden nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Die Attraktivität des Zielobjekts hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 19) = 6.94, p < .05, \eta^2 = .27$ ). Das attraktive Zielobjekt führte zu einem grösseren Lokalisationsfehler als das abstossende Zielobjekt. Die Bewegungsrichtung hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .34, \eta^2 = .05$ ). Der Lokalisationsfehler wurde grösser mit steigender Targetgeschwindigkeit ( $F(2, 38) = 110.21, p < .001, \eta^2 = .85$ ). Signifikant war auch die Interaktion der Faktoren Attraktivität des Zielobjekts und Bewegungsrichtung ( $F(1, 19) = 4.701, p < .05, \eta^2 = .20$ ), der Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen den beiden Zielobjekten war bei einer Targetbewegung nach rechts grösser als bei einer Targetbewegung nach links. Die weiteren Interaktionen der Faktoren waren nicht signifikant (Attraktivität des Zielobjekts x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .75, \eta^2 = .02$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(2, 38) = 1.01, p = .38, \eta^2 = .05$ , Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .44, \eta^2 = .04$ ).

**Reaktionszeit.** Das Geschlecht der Versuchspersonen hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 18) = 2.29, p = .15, \eta^2 = .11$ ).

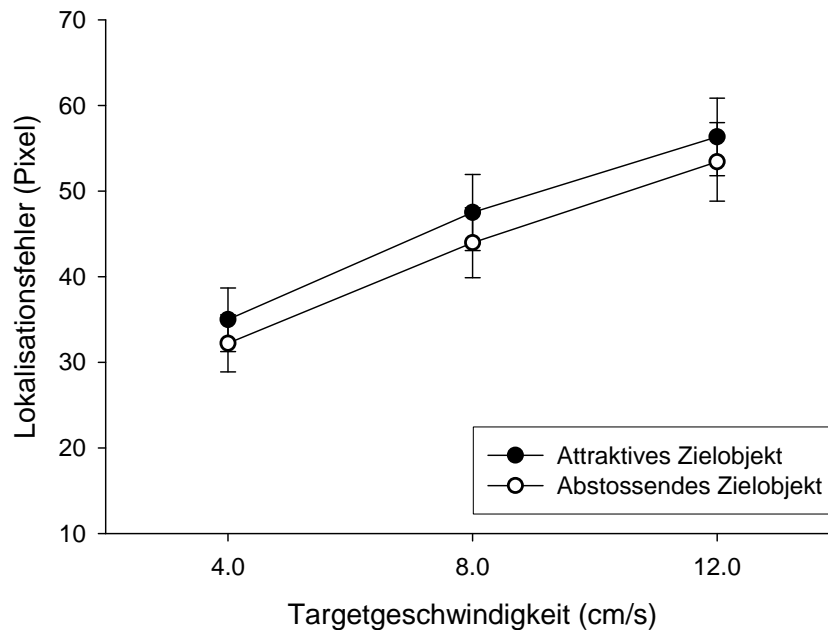


Abbildung 37: Resultate von Experiment 2.2. Lokalisationsfehler über drei Geschwindigkeiten in Abhängigkeit der Attraktivität eines Zielobjekts (attraktiv vs. abstossend). Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

Auch ob das orange Zielobjekt attraktiv war oder das blaue, hatte keinen signifikanten Einfluss ( $F < 1, p = .83, \eta^2 = .00$ ). Diese Faktoren wurden nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Die unterschiedliche Attraktivität des Zielobjekts führte zu keinem Unterschied in den Reaktionszeiten ( $F < 1, p = .75, \eta^2 = .01$ ). Die Reaktionszeiten waren nicht unterschiedlich in Abhängigkeit der Bewegungsrichtung ( $F(1, 19) = 1.81, p = .20, \eta^2 = .09$ ). Die Targetgeschwindigkeit hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ( $F < 1, p = .92, \eta^2 = .00$ ). Die Interaktionen der Faktoren waren alle nicht signifikant (Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .90, \eta^2 = .00$ , Attraktivität des Zielobjekts x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .40, \eta^2 = .05$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .57, \eta^2 = .03$ , Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .48, \eta^2 = .04$ ).

### 3.3.3 Diskussion

In dieser erweiterten und abstrakten Version von Experiment 2.1 zeigte sich ein klarer Effekt der Attraktivität des Zielobjekts: Der Lokalisationsfehler war grösser bei einem attraktiven als bei einem abstossendem Zielobjekt. Weder die Farbe des Zielobjekts noch die Farbe des Targets hatten einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler. Der Unterschied zwischen den beiden Attraktivitäten muss also durch das Wissen der Versuchspersonen über die Absicht des Targets entstanden sein, sich zu einem attraktiven Zielobjekt hin bewegen, und sich nicht zu einem abstossenden Zielobjekt hin bewegen zu wollen. Das konzeptuelle Wissen über die Intentionen und Absichten von „Objekten“ kann also die Grösse des Lokalisationsfehlers und damit die Repräsentationen eines Targets unserer Umwelt beeinflussen.

Interessant ist hier auch die Interaktion von Bewegungsrichtung und Attraktivität. Bei einer Bewegung nach rechts, die schon in Experiment 1 zu einem grösseren Lokalisationsfehler führte, war der Unterschied zwischen den beiden Attraktivitäten grösser als bei einer Bewegung nach links. Möglicherweise wird hier die subjektiv wahrgenommene Geschwindigkeit zusätzlich durch die wahrgenommene Intention des Targets beeinflusst.

Wiederum zeigte sich hier der Effekt der Geschwindigkeit und kein Effekt der Bewegungsrichtung.

### 3.4 Experiment 2.3 - Variation der Intention eines sich bewegenden Objekts - Abstrakte und konkrete Bedingung in einem Within-Subject-Design

Auf Grund der Ergebnisse von Experiment 2.2 stellt sich die Frage, ob der Unterschied im Lokalisationsfehler nicht doch auch in der konkreten Version der Aufgabe gefunden werden kann, in der sich eine Maus entweder auf ein Stück Käse oder eine Katze zu bewegt. Dies sollte in Experiment 2.3 überprüft werden. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob sich die konkrete Bedingung in irgendeiner Form von der abstrakten Bedingung unterscheidet.

In den Experimenten 2.1 und 2.2 führten die Versuchspersonen entweder



die konkrete Version der Aufgabe durch oder die abstrakte. In Experiment 2.3 sollen diese beiden Aufgaben kombiniert werden. Die Attraktivität sollte nicht mehr von Versuchsdurchgang zu Versuchsdurchgang verändert werden, sondern blieb pro Experimentalblock dieselbe. Um die Aufgabe nicht zu lange werden zu lassen, wurde nur noch eine Objektgeschwindigkeit präsentiert. Damit auch die abstrakte Bedingung jeweils eindeutig war, wurde immer zuerst die konkrete Versuchsbedingung präsentiert, und danach die abstrakte: Beispielsweise wurde im ersten Experimentalblock eine Maus gezeigt, die sich auf ein Stück Käse zu bewegte, im zweiten Experimentalblock dann das abstrakte Target, welches sich auf das Zielobjekt mit attraktiver Farbe zu bewegte.

### 3.4.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (7 Frauen und 3 Männer, Durchschnittsalter: 22;5, Altersbereich: 19;9 bis 25;7). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Verwendet wurden dieselben Stimuli aus den ersten beiden Experimenten 2.1 und 2.2. Maus und Target bewegten sich mit einer Geschwindigkeit von 8.0 cm/s horizontal über den Bildschirm und verschwanden an einer von drei möglichen Positionen.

**Konkrete Bedingung.** In der konkreten Bedingung wurden exakt dieselben Stimuli (Maus, Käse und Katze) verwendet wie in Experiment 2.1 (für eine schematische Darstellung der konkreten Bedingung siehe Abbildung 34, Seite 155).

**Abstrakte Bedingung.** In der abstrakten Bedingung wurden die drei unterschiedlich gefärbten Targets ersetzt durch ein kreisförmiges, blaues Target (Durchmesser 0.45 cm) mit rotem Zentrum (Durchmesser 0.13 cm). Die Zielobjekte dieser Bedingung waren identisch mit denen aus Experiment 2.2 (für

eine schematische Darstellung der abstrakten Bedingung siehe Abbildung 36, Seite 162).

**Prozedur.** Die Versuchspersonen erhielten pro Bedingung eine schriftliche Instruktion. In der abstossenden Bedingungen wurde darin erklärt, dass die Katze/das farbige Feld *ein abstossendes Objekt* darstellt, und die Maus/das Target sich von dieser Katze/diesem farbigen Feld *abgestossen fühlt*, und *da auf gar keinen Fall hin* möchte. In der attraktiven Bedingung lautete die Instruktion dementsprechend, dass der Käse/das farbige Feld *ein attraktives Objekt* darstellt, und die Maus/das Target sich von diesem Käse/dem farbigen Feld *angezogen fühlt* und *da sehr gerne hin* möchte. Die Aufgabe bestand darin, die letzte Position der Maus, beziehungsweise der roten Nase der Maus oder die letzte Position des roten Zentrums des Targets mit der Spitze eines Plastikstiftes direkt auf dem Bildschirm anzuzeigen. Die insgesamt vier Bedingungen wurden in zwei Blöcken dargeboten. Ein Block mit attraktiven Zielobjekten (Käse beziehungsweise die als attraktiv bezeichnete Farbe) und ein Block mit abstossenden Zielobjekten (Katze bzw. die als abstossend bezeichnete Farbe). Die Reihenfolge der Darbietung war dabei ausbalanciert. In jedem Block wurde zuerst die konkrete Bedingung präsentiert, um den Versuchspersonen das Verständnis der Aufgabenstellung in der abstrakten Bedingung zu erleichtern.

Vor der ersten Präsentation der konkreten und der abstrakten Bedingung wurden, wie in allen bisher beschriebenen Experimenten zweimal 10 statische Probedurchgänge gezeigt. Danach folgten jeweils 10 zufällig aus den Experimentaldurchgängen ausgewählte Probedurchgänge mit bewegter Maus/bewegtem Target.

Die Experimentaldurchgänge der jeweiligen Bedingungen bestanden aus insgesamt 36 Versuchsdurchgängen. Das Objekt bewegte sich in zwei Richtungen und verschwand an drei unterschiedlichen Positionen. Jede dieser sechs Kombinationen wurde sechs mal präsentiert (2 Richtungen x 3 Verschwindepunkte x 6 Messwiederholungen = 36 Durchgänge). Insgesamt führten die Versuchspersonen 264 Versuchsdurchgänge durch (4 Bedingungen x (30 Einführungsdurchgänge

+ 36 Experimentaldurchgänge)). Die Gesamtdauer des Experimentes betrug ungefähr 30 Minuten .

### 3.4.2 Resultate

Auf Grund der fehlenden oder zumindest unsystematischen Effekte der Reaktionszeit aus dem ersten Teil der vorliegenden Arbeit und den beiden Experimenten 2.1 und 2.2 wird die Reaktionszeit in den folgenden Experimenten nicht mehr berichtet. Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Art der Aufgabe (konkret vs. abstrakt), Attraktivität des Zielobjekts (attraktiv vs. abstossend) und Bewegungsrichtung, sowie dem Zwischensubjektfaktoren Geschlecht.

Die Daten der Lokalisationsfehler von Experiment 2.3 sind in der Abbildung 38 dargestellt. Die weiblichen Versuchspersonen produzierten einen grösseren Lokalisationsfehler als die männlichen Versuchspersonen ( $F(1, 8) = 9.36, p < .05, \eta^2 = .54$ ). Der Faktor Geschlecht interagierte mit der Attraktivität des Zielobjekts ( $F(1, 8) = 7.26, p < .05, \eta^2 = .48$ ), der im Folgenden beschriebene Effekt der Attraktivität des Zielobjekts war bei den weiblichen Versuchspersonen grösser als bei den männlichen. Für die weitere Datenanalyse wurden die Daten der Varianzanalyse ohne Berücksichtigung der Zwischensubjektfaktoren verwendet.

Die Art der Aufgabe hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 9) = 36.22, p < .001, \eta^2 = .80$ ), der Lokalisationsfehler war generell grösser in der abstrakten Bedingung als in der konkreten Bedingung. Die Attraktivität des Zielobjekts wirkte sich ebenfalls auf den Lokalisationsfehler aus ( $F(1, 9) = 9.86, p < .05, \eta^2 = .52$ ), der Lokalisationsfehler war leicht grösser bei einem attraktiven Zielobjekt als bei einem abstossenden Zielobjekt. Die Bewegungsrichtung hatte keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .97, \eta^2 = .00$ ). Die Interaktionen der Faktoren waren nicht signifikant (Art der Aufgabe x Attraktivität des Zielobjekts:  $F < 1, p = .78, \eta^2 = .01$ , Art der Aufgabe x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .94, \eta^2 = .00$ , Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung:  $F(1, 9) = 1.15, p = .31, \eta^2 = .11$ , Art der Aufgabe x

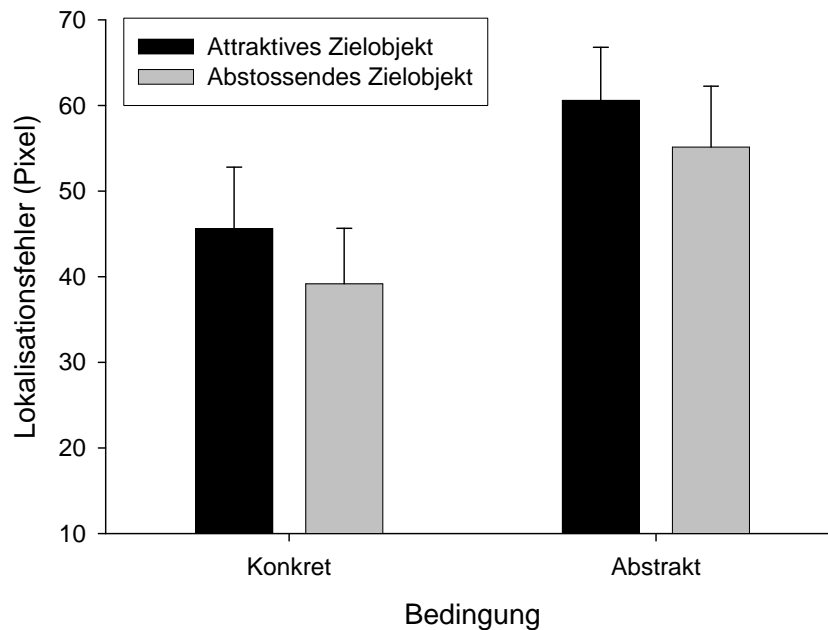


Abbildung 38: Resultate von Experiment 2.3. Der Lokalisationsfehler aus der konkreten (Maus bewegt sich auf Käse oder Katze zu) und der abstrakten (kreisförmiges Target bewegt sich auf blaues oder oranges Zielobjekt zu) Bedingung in Abhängigkeit der Attraktivität des Zielobjekts. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .69, \eta^2 = .02$ ).

### 3.4.3 Diskussion

Die Daten von Experiment 2.3 zeigen, dass Targets, welche sich auf ein attraktives Zielobjekt zu bewegten, zu einem grösseren Lokalisationsfehler führten als Targets, die sich auf ein abstossendes Zielobjekt zu bewegten. Der Lokalisationsfehler war zwar in der abstrakten Bedingung insgesamt grösser als in der konkreten. Den Unterschied zwischen den Attraktivitäten beeinflusste das jedoch nicht. Der Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen dem attraktiven und dem abstossenden Zielobjekt, zeigte sich also unabhängig von der Art der Darbietung. Es spielte keine Rolle, ob die Lokalisationsaufgabe in konkreter Form dargeboten wurde (sich eine Maus auf ein Stück Käse oder eine Katze zu bewegte), oder ob die Lokalisationsaufgabe in abstrakter Form präsentiert wurde (in welcher sich ein

rundes Target auf ein je nach Attraktivität unterschiedlich gefärbtes Zielobjekt zu bewege). Durch das Ausbalancieren der Zuweisung von Attraktivität und Farbe (das orange Zielobjekt war bei der Hälfte der Versuchspersonen das attraktive Zielobjekt, bei der anderen Hälfte das abstossende Zielobjekt) konnte ausgeschlossen werden, dass der Unterschied zwischen den beiden abstrakten Bedingungen durch die unterschiedlichen Farben zu Stande kommt. Dies wurde in Experiment 2.7 zusätzlich noch explizit geprüft. Die Bewegungsrichtung hatte keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers.

Weibliche Versuchspersonen zeigten insgesamt einen grösseren Lokalisationsfehler als männliche, sie unterschieden auch stärker die Attraktivität des Zielobjekts. Möglicherweise könnte dies daran gelegen haben, dass die weiblichen Versuchspersonen eher bereit waren, die sehr spielerisch angelegte Aufgabe mit grösserer Konzentration durchzuführen.

### **3.5 Experiment 2.4 - Variation der Intention eines sich bewegenden Objekts - Zielobjekt wird bei Bewegung maskiert.**

In Experiment 2.3 hat sich gezeigt, dass ein attraktives Target einen grösseren Lokalisationsfehler bewirkt, als ein abstossendes. Es zeigte sich auch ein Unterschied zwischen der konkreten und der abstrakten Bedingung: In der abstrakten Bedingung war der Lokalisationsfehler grösser als in der konkreten Bedingung, unabhängig von der Attraktivität des Zielobjekts. Eine mögliche Erklärung dafür könnte die Grösse der Zielobjekte sein. Diese war in der konkreten Bedingung kleiner als in der abstrakten Bedingung (Zielobjekt konkret: Breite 6.6 cm, Höhe ca. 5 cm; Zielobjekt abstrakt: Breite 6.6 cm, Höhe 14.1 cm). Unterschiede in der Grösse von Landmarken wurden in bisherigen Studien nicht gefunden (Hubbard & Ruppel, 1999, 2000). Um dies für die hier benutzten Stimuli zu testen, wurde den Versuchspersonen eine Aufgabe präsentiert, in der sich die Zielobjekte sowohl in der konkreten als auch in der abstrakten Bedingung nicht voneinander unterschieden. Dazu wurde die Aufgabe aus Experiment 2.3 leicht verändert und die Zielobjekte nur zu Beginn jedes Versuchsdurchgangs eindeutig präsentiert. Sobald

sich das Target bewegte, wurde das Zielobjekt von einer Maskierung verdeckt. Diese war in allen Versuchsdurchgängen gleich gross und gleich gefärbt. Das würde der Situation entsprechen, in der zum Beispiel der Käse zu Beginn eines Versuchsdurchgangs kurz gezeigt wird, während der Bewegung der Maus aber unter einer Kiste versteckt wird. Ein visueller Stimulus, der als Landmarke wirkt, ist immer zu sehen, aber er unterscheidet sich während der Objektbewegung nicht mehr von Bedingung zu Bedingung. Die Landmarke ist gleich gross und gleich gefärbt, und Unterschiede zwischen den Bedingungen in der Grösse des Lokalisationsfehlers können somit nicht mehr auf die Grösse der Landmarke zurückgeführt werden.

### 3.5.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (6 Frauen und 4 Männer, Durchschnittsalter: 26;10, Altersbereich: 19;7 bis 36;5). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Das Untersuchungsmaterial von Experiment 2.4 war identisch mit demjenigen aus Experiment 2.3. Der einzige Unterschied bestand darin, dass das Zielobjekt nur sichtbar war, solange sich die Maus beziehungsweise das Target nicht bewegten. Sobald die Bewegung begann wurde das Zielobjekt durch eine grau gefärbte Maskierung (Höhe: 14.1 cm, Breite: 6,6 cm) verdeckt, so dass während der Bewegung das Zielobjekt in allen Bedingungen gleich war (siehe Abbildung 39).

**Prozedur.** Die Prozedur von Experiment 2.4 war identisch mit derjenigen von Experiment 2.3.

### 3.5.2 Resultate

Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Art der Aufgabe (konkret vs. abstrakt),

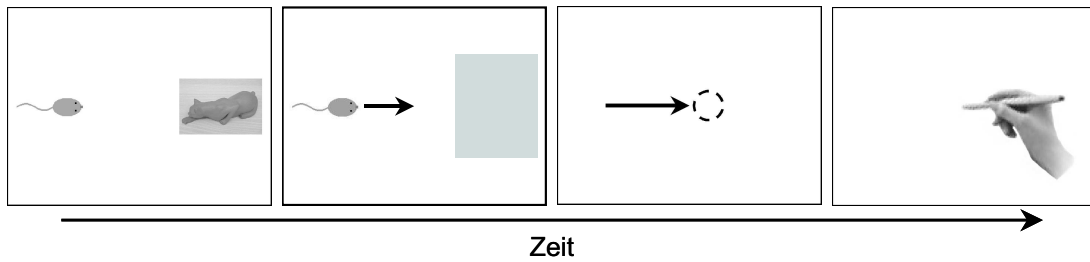


Abbildung 39: Schematische Darstellung des Versuchsablaufs von Experiment 2.4, anhand der Bedingung konkret-attraktiv: Die Maus und das Zielobjekt waren für 1.0 s statisch sichtbar. Mit dem Beginn der Bewegung der Maus wurde der Käse durch eine graue Maske verdeckt. Maus und Maske verschwanden zeitgleich. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, die letzte Position der roten Nase der Maus mit der Spitze eines Plastikstiftes direkt auf dem Bildschirm anzuzeigen.

Attraktivität des Zielobjekts (attraktiv vs. abstossend) und Bewegungsrichtung, sowie dem Zwischensubjektfaktoren Geschlecht der Versuchspersonen.

Die Daten der Lokalisationsfehler sind in Abbildung 40 dargestellt. Der Lokalisationsfehler der weiblichen Versuchspersonen unterschied sich nicht signifikant von dem Lokalisationsfehler der männlichen Versuchspersonen, ( $F(1, 8) = 3.41, p = .10, \eta^2 = .30$ ). Männer produzierten tendenziell einen kleineren Lokalisationsfehler als Frauen. Der Faktor Geschlecht wurde nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Die Art der Aufgabe hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1, 9) = 23.93, p < .01, \eta^2 = .73$ ), der Lokalisationsfehler war grösser in der abstrakten Bedingung als in der konkreten. Die Attraktivität des Zielobjekts wirkte sich ebenfalls signifikant auf den Lokalisationsfehler aus ( $F(1, 9) = 8.12, p < .05, \eta^2 = .47$ ), ein attraktives Zielobjekt führte zu einem grösseren Lokalisationsfehler als ein abstossendes Zielobjekt. Die Bewegungsrichtung hatte keinen signifikanten Einfluss ( $F < 1, p = .72, \eta^2 = .02$ ). Die Interaktionen der Faktoren waren nicht signifikant (Art der Aufgabe x Attraktivität des Zielobjekts:  $F < 1, p = .70, \eta^2 = .02$ , Art der Aufgabe x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .74, \eta^2 = .01$ , Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung:  $F < 1, p = .78, \eta^2 = .01$ , Art der Aufgabe x Attraktivität des Zielobjekts x Bewegungsrichtung:  $F(1, 9) = 1.34, p = .28, \eta^2 = .13$ ).

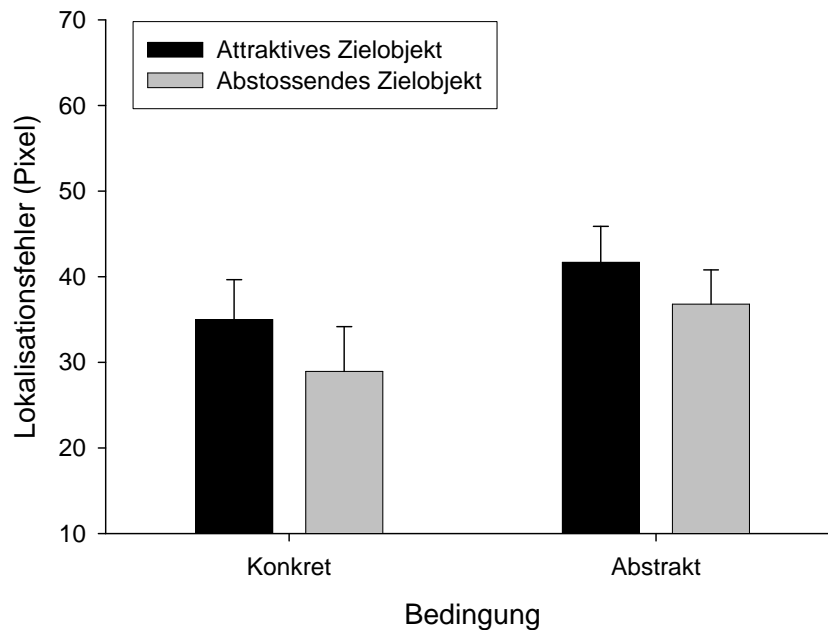


Abbildung 40: Resultate von Experiment 2.4. Lokalisationsfehler aus der konkreten (Maus bewegt sich auf Käse oder Katze zu) und der abstrakten (kreisförmiges Target bewegt sich auf blaues oder oranges Zielobjekt zu) Bedingung in Abhängigkeit der Attraktivität des Zielobjekts. Das Zielobjekt war während der Bewegung des Targets durch ein graues Feld verdeckt. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

Ein Vergleich der Grösse des Lokalisationsfehler mit Experiment 2.3 zeigt, dass dieser in Experiment 2.3 grösser ist als in Experiment 2.4 ( $F(1, 18) = 5.49, p < .05, \eta^2 = .23$ ). Die Interaktion dieses Zwischensubjektfaktors mit der Art der Aufgabe war ebenfalls signifikant ( $F(1, 18) = 7.58, p < .05, \eta^2 = .30$ ), in der Experiment 2.3 war der Unterschied in der Grösse des Lokalisationsfehler zwischen der konkreten und der abstrakten Aufgabe grösser als in Experiment 2.4. Die weiteren Interaktionen waren nichts signifikant (Experimentalbedingung x Attraktivität:  $F < 1, p = .86, \eta^2 = .00$ , Experimentalbedingung x Art der Aufgabe x Attraktivität des Zielobjekts:  $F < 1, p = .98, \eta^2 = .00$ ).

### 3.5.3 Diskussion

Auch in dieser Bedingung, in der das Zielobjekt während der Targetbewegung durch eine graue Maskierung verdeckt war, bewirkte ein attraktives Zielobjekt



einen grösseren Lokalisationsfehler als ein abstossendes. Das Zielobjekt muss also nicht während der Targetbewegung visuell diskriminierbar sein.

Die Information über die Attraktivität des Zielobjekts wurde nur kurz, während der Phase präsentiert, in der sich die Maus/das Target noch nicht bewegte. Das reichte aus, um einen unterschiedlichen Lokalisationsfehler zu verursachen. Die Grösse des Lokalisationsfehlers war wiederum in der abstrakten Bedingung grösser als in der konkreten Bedingung. Der Unterschied zwischen den beiden Bedingungen war allerdings weniger gross als in Experiment 2.3, in welchem das Zielobjekt die ganze Zeit sichtbar und erkennbar war, während das Target/die Maus statisch war bzw. während sich das Target/die Maus bewegte. Der Unterschied zwischen den beiden Bedingungen scheint also möglicherweise von der Grösse der Landmarke abzuhängen.

### **3.6 Experiment 2.5 - Kontrolle der Grösse des Zielobjekts**

Hubbard und Ruppel (1999) konnten keinen Effekt der Grösse einer Landmarke auf das Representational Momentum finden. Sie benutzten allerdings eine andere Methode als in der vorliegenden Untersuchung. Hubbard (1995b) fand aber auch, dass der Lokalisationsfehler kleiner war, wenn sich ein Objekt sich durch eine Wand hindurch bewegte. Je dicker diese Wand war, desto stärker war der Einfluss und desto geringer war der Lokalisationsfehler. Hubbard (1995b) sah darin eine Art Reibungseffekt, der durch das Durchbrechen des Targets durch diese virtuelle Wand verursacht wurde. Diese Verringerung des Lokalisationsfehlers könnte aber auch durch einen Landmark-Attraction-Effekt entstanden sein. Die stärkere Verringerung bei einer dickeren Wand, könnte auf einen Effekt der Grösse einer Landmarke auf den Lokalisationsfehler hinweisen. Um zu testen, ob die Grösse einer Landmarke beim Durchführen der Lokisationsaufgabe mit einem Touchscreen-Paradigma einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler hat, wurde in Experiment 2.5 die Grösse der Landmarke systematisch variiert.

### 3.6.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (7 Frauen und 3 Männer, Durchschnittsalter: 31;10, Altersbereich: 24;8 bis 43;11). Alle Versuchspersonen waren Assistierende oder Angestellte der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Der Versuchsaufbau war denjenigen der vorangegangenen Experimente sehr ähnlich. Im Unterschied dazu war das Zielobjekt nicht in der Farbe variiert (orange/blau) sondern war in allen Durchgängen weiss (RGB-Wert: 255, 255, 255). Ausserdem wurde die Grösse des Zielobjekts variiert. Die Breite wurde konstant gehalten (6.6 cm). Dadurch war der Abstand von der Startposition des Targets zum Zielobjekt immer derselbe. Die Höhe der Zielobjekte konnte insgesamt sechs Ausprägungen annehmen: 0.0 cm, 5.4 cm, 10.8 cm, 16.2 cm, 21.6 cm und 27.0 cm. Eine Höhe 0.0 cm bedeutet, dass keine Landmarke sichtbar war. Die Landmarke mit der Höhe 27.0 cm nahm die ganze Höhe des Bildschirmes in Anspruch (siehe Abbildung 41).

**Prozedur.** Nach den üblichen statischen Einführungsdurchgängen wurden 10 zufällig aus den Experimentaldurchgängen ausgewählte Probedurchgänge präsentiert, in denen sich das Target horizontal auf ein Zielobjekt zu bewegte und verschwand. Es folgten 144 Experimentaldurchgänge (2 Bewegungsrichtungen x 6 Grössen des Zielobjekts x 3 Verschwindepunkte x 4 Messwiederholungen). Die Dauer des gesamten Experimentes betrug pro Versuchsperson ungefähr 20 Minuten.

### 3.6.2 Resultate

Mit den korrigierten Lokalisationsfehlern wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht und den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung und Grösse der Landmarke.

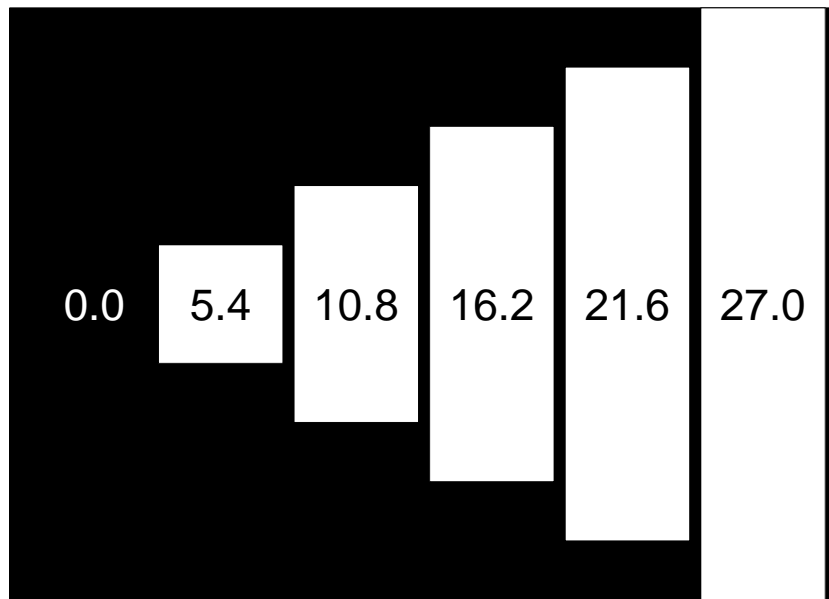


Abbildung 41: Darstellung der unterschiedlichen Grössen der Landmarke in Experiment 2.5. Die Zahlen stehen für die jeweilige Höhe der entsprechenden Landmarke in cm.

Die Daten der Lokalisationsfehler sind in Abbildung 42 dargestellt. Das Geschlecht der Versuchspersonen hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .43, \eta^2 = .08$ ) und wurde nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Eine unterschiedliche Bewegungsrichtung führte zu keinem signifikanten Unterschied im Lokalisationsfehler ( $F(1, 9) = 1.24, p = .29, \eta^2 = .12$ ). Die Grösse der Landmarke hatte einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(5, 45) = 14.60, p < .001, \eta^2 = .62$ ), der Lokalisationsfehler wuchs mit der Grösse der Landmarke an. Dieser Anstieg war allerdings nicht linear (siehe Abbildung 42). Bei einer Auswertung der Daten ohne die Bedingung, in der keine Landmarke vorhanden war, ergab sich kein Effekt der Grösse der Landmarke mehr ( $F(4, 36) = 1.45, p = .24, \eta^2 = .14$ ). Die Interaktion der beiden Faktoren war weder mit Landmarke 1 ( $F(5, 45) = 1.23, p = .31, \eta^2 = .12$ ), noch ohne den Einbezug von Landmarke 1 ( $F(4, 36) = 1.11, p = .37, \eta^2 = .11$ ) signifikant.

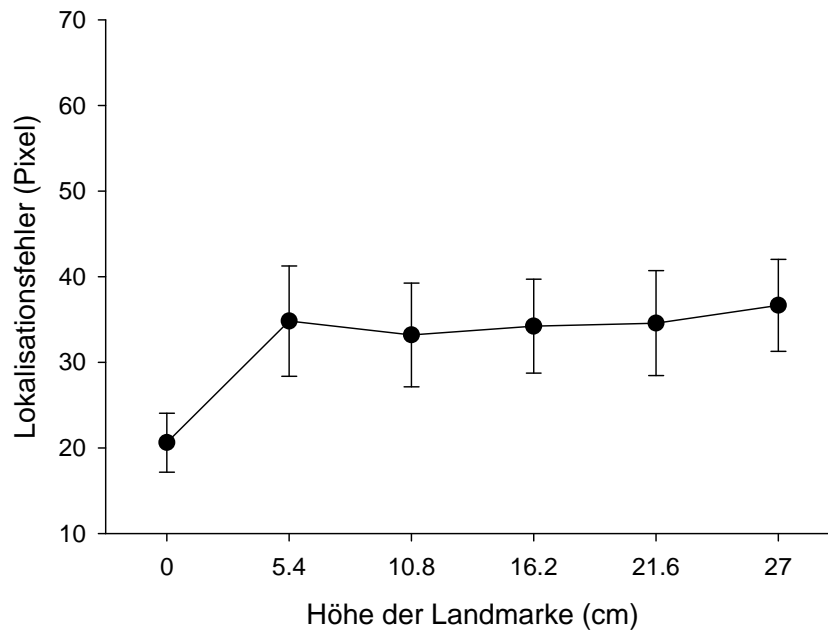


Abbildung 42: Resultate von Experiment 2.5. Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der Grösse der präsentierten Landmarke. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

### 3.6.3 Diskussion

Die Ergebnisse von Experiment 2.5 zeigen, dass der Lokalisationsfehler grösser wird, sobald sich das Target auf eine Landmarke zu bewegt. Die Grösse dieser Landmarke hat aber keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers. Die Befunde von Hubbard und Ruppel (1999) konnten damit bestätigt werden. Die Grösse des Zielobjekts hat definitiv keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers. Sie kann als Grund für den Unterschied zwischen der abstrakten und der konkreten Bedingung in den Experimenten 2.3 und 2.4 ausgeschlossen werden.

## 3.7 Experiment 2.6 - Kontrolle der Grösse des sich bewegenden Targets

Ein weiterer Grund, warum es zu einem Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen der abstrakten und der konkreten Bedingung kam, könnte im Unter-

schied von Form und Grösse des Targets liegen. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, die letzte Position der roten Nase der Maus zu lokalisieren. Möglicherweise wurde nach dem Verschwinden der Maus aber nicht die letzte Position der roten Nase lokalisiert, sondern die Mitte der gesamten Maus. Dadurch könnte der Lokalisationsfehler kleiner geworden sein. Der Körper der Maus könnte in diesem Fall - als eine Art Landmarke - den Lokalisationsfehler entgegen der Bewegungsrichtung verzerrt haben. Um dies zu überprüfen, wurde das Aussehen der sich bewegenden Maus variiert. In einem Experimentalblock wurde die Maus als ganzes präsentiert. In den weiteren wurde dann die Maus ohne Schwanz, die Hälfte der Maus bzw. nur die rote Nase gezeigt.

### 3.7.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren dieselben Versuchspersonen wie in Experiment 2.5.

**Versuchsaufbau.** In vier Bedingungen wurde das Aussehen der sich bewegenden Maus systematisch variiert. Jede Bedingung wurde in einem separaten Experimentalblock präsentiert. Die Reihenfolge der Darbietung der Bedingungen war ausbalanciert. In der Bedingung *Ganze Maus* wurde die Maus so dargestellt wie in den vorangegangenen Experimenten. In der Bedingung *Maus ohne Schwanz* fehlte der Maus der Schwanz. In der Bedingung *Halber Körper* war nur der vordere Teil des Körpers der Maus zu sehen und in der Bedingung *Nur Nase* bewegte sich nur die rote Nase der Maus (siehe Abbildung 43). Die Maus bewegte sich wie in den vorangegangenen Experimenten horizontal von rechts nach links oder von links nach rechts mit einer Geschwindigkeit von 8.0 cm/s und verschwand an einer von drei Positionen in der Nähe des Bildschirmzentrums. Die letzte Position der roten Nase sollte mit der Spitze eines Plastikstiftes am Bildschirm angezeigt werden. Es war kein weiteres Objekt auf dem Bildschirm sichtbar.

**Prozedur.** Die Prozedur war ähnlich wie in den vorangegangenen Experimenten. Zu Beginn des Experiments wurden zwei mal zehn statische Einführungs-

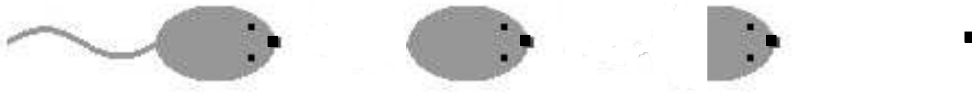


Abbildung 43: Darstellung der vier präsentierten Targets aus Experiment 2.6: Von links nach rechts: Ganze Maus, Maus ohne Schwanz, Halbe Maus, nur Nase der Maus.

durchgänge präsentiert. Jede der darauffolgenden vier Experimentalbedingungen wurde in jeder Bedingung zehn zufällig aus den Experimentaldurchgängen ausgewählten Probedurchgängen eingeführt. Jede der vier Experimentalbedingungen bestand aus 36 Versuchsdurchgängen (2 Bewegungsrichtungen  $\times$  3 Verschwindepunkte  $\times$  6 Messwiederholungen). Insgesamt wurden 204 Versuchsdurchgänge präsentiert. Die Dauer des gesamten Experiments betrug pro Versuchsperson ungefähr 20 Minuten.

### 3.7.2 Resultate.

Mit den korrigierten Lokalisationsfehlern wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht und den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung und Form der Maus.

Die Daten der Lokalisationsfehler sind in Abbildung 44 dargestellt. Es zeigte sich kein unterschiedlicher Lokalisationsfehler in Abhängigkeit des Geschlechts ( $F(1, 8) = 4.19, p = .08, \eta^2 = .34$ ), tendenziell war der Lokalisationsfehler der weiblichen Versuchspersonen grösser als derjenige der männlichen Versuchspersonen. Der Faktor Geschlecht wurde nicht in die weitere Auswertung miteinbezogen.

Weder die Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .66, \eta^2 = .02$ ), noch die Form des Targets ( $F < 1, p = .55, \eta^2 = .08$ ) hatten einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler. Auch die Interaktion dieser beiden Faktoren war nicht signifikant ( $F(3, 27) = 1.22, p = .32, \eta^2 = .12$ ). Ein nach Bonferroni angepasster Vergleich der Mittelwerte zeigte, dass sich kein Mittelwert signifikant von den anderen unterschied.

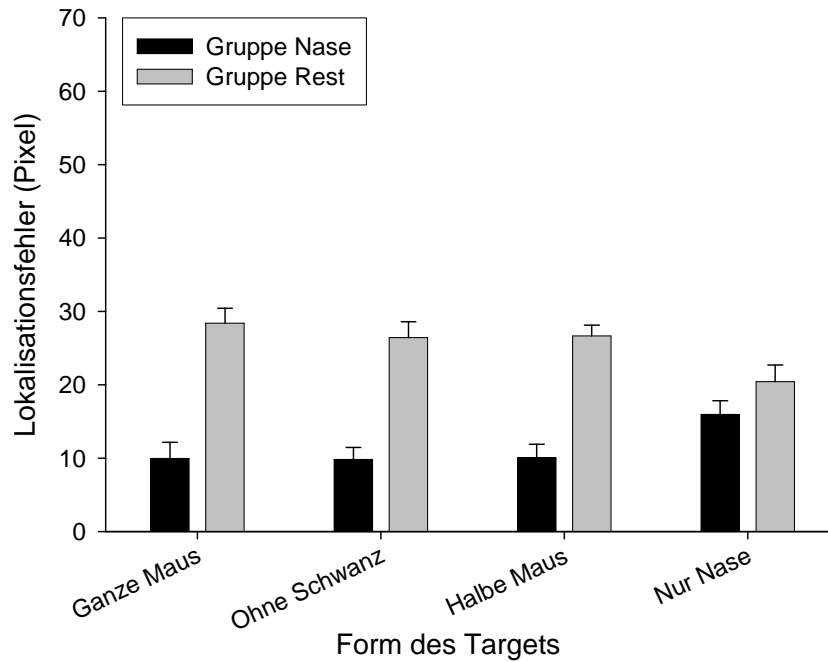


Abbildung 44: Resultate von Experiment 2.6. Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der Form des Targets und unterschieden nach den beiden Versuchspersonengruppen die entweder bei der alleinigen Präsentation der Nase der Maus den grössten Lokalisationsfehler zeigten oder bei einer anderen Form. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

Die Daten der einzelnen Versuchspersonen zeigten allerdings ein uneinheitliches Bild. Bei sieben Versuchspersonen war der Lokalisationsfehler am grössten, wenn nur der rote Punkt der Nase der Maus sich bewegte. Bei zwei Versuchspersonen war der Lokalisationsfehler in dieser Bedingung am kleinsten. Eine Versuchsperson zeigte keine Unterscheidung der Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der Form der Maus. Wenn nur die Daten dieser sieben Versuchspersonen ausgewertet wurden, zeigte sich ein deutlicher Einfluss der Grösse des Targets ( $F(3, 18) = 13.23, p < .001, \eta^2 = .69$ ). Der nach Bonferroni angepasste Paarvergleich ergab, dass der Lokalisationsfehler am grössten war, wenn sich nur die bewegte Nase der Maus zu sehen war (siehe Tabelle 1). Bei einem Vergleich der Daten der sieben Versuchspersonen, die in der Bedingung Nur Nase der Maus den grössten Lokalisationsfehler machten (Gruppe *Nase*), mit den Daten der anderen drei Versuchspersonen (Gruppe *Rest*), zeigte sich, dass der Unter-

Tabelle 1:

*Paarvergleiche (angepasst nach Bonferroni) der Grösse des Lokalisationsfehlers in Abhängigkeit der Targetgrösse*

	Ganze Maus	Maus ohne Schwanz	Halbe Maus	Nur Nase der Maus
Ganze Maus		n.s	n.s	*
Maus ohne Schwanz	n.s		n.s	*
Halbe Maus	n.s	n.s		*
Nur Nase der Maus	*	*	*	

*Anmerkung.* \* Die Mittelwerte unterscheiden sich auf einem Signifikanz-Niveau von  $\alpha = .05$ .

schied zwischen diesen beiden Gruppen signifikant war ( $F(1, 8) = 11.26, p < .05, \eta^2 = .59$ ). In der Abbildung 44 ist zu erkennen, dass der Lokalisationsfehler in der Gruppe Rest insgesamt grösser war als in der Gruppe Nase. Ausserdem war die Interaktion der Gruppe mit der Form der Maus signifikant ( $F(2, 24) = 14.87, p < .001, \eta^2 = .65$ ), die Gruppe Nase zeigte den grössten Lokalisationsfehler bei der alleinigen Präsentation der roten Nase der Maus, die Gruppe Rest zeigte den grössten Lokalisationsfehler in einer anderen Bedingung. Die Lokalisationsfehler bei alleiniger Präsentation der Nase liegen allerdings wieder erstaunlich nah zusammen und unterschieden sich nicht signifikant (Gruppe Nase:  $M = 13.89$  Pixel,  $SD = 7.70$ ; Gruppe Rest:  $M = 20.41$  Pixel,  $SD = 7.20$  Pixel,  $t(8) = -1.25, p = .25, d = -.88$ ).

### 3.7.3 Diskussion.

Die Ergebnisse von Experiment 2.6 liefern keinen eindeutigen Befund: Bei einem grossen Teil der Versuchspersonen war der Lokalisationsfehler am grössten, wenn sich nur die rote Nase der Maus über den Bildschirm bewegte und lokalisiert werden musste. Sobald ein weiterer Teil der Maus oder die ganze Maus zu sehen war, war der Lokalisationsfehler kleiner. Für diese Gruppe von Versuchspersonen gilt, dass der Körper der Maus, unabhängig davon wieviel von diesem Körper präsentiert wurde, den Lokalisationsfehler in Richtung des Körpers, also



entgegen der Bewegungsrichtung verzerrte. Diese Interpretation ist allerdings unter der Einschränkung zu betrachten, dass zwei der Versuchspersonen den kleinsten Lokalisationsfehler zeigten, wenn sich nur die rote Nase der Maus über den Bildschirm bewegte. In dieser Gruppe führte der Körper der Maus zu einer Vergrößerung des Lokalisationsfehlers in Bewegungsrichtung.

### **3.8 Experiment 2.7 - Kontrolle der Farbe der abstrakten Zielobjekte**

In Experiment 2.7 sollte überprüft werden, ob die Farbe der abstrakten Zielobjekte einen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehler hatte, unabhängig von der gestellten Aufgabe. Dazu wurden einer weiteren Gruppe von Versuchspersonen die beiden abstrakten Bedingungen aus Experiment 2.3 präsentiert, in denen sich ein kreisförmiges Target auf ein Zielobjekt zu bewegte, das entweder orange oder blau gefärbt war. Um zu überprüfen, ob alleine die Farbe des Zielobjekts einen unterschiedlichen Lokalisationsfehler verursacht, wurde keine Information über die Intention des Targets gegeben.

#### **3.8.1 Methode**

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (6 Frauen und 4 Männer, Durchschnittsalter: 24;9, Altersbereich: 21;8 bis 29;1). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Das Untersuchungsmaterial war identisch mit demjenigen aus der abstrakten Bedingung von Experiment 2.3 (für eine schematische Darstellung des Versuchsablaufs siehe Abbildung 36, Seite 162).

**Prozedur.** Die Prozedur war identisch mit derjenigen der abstrakten Bedingung aus Experiment 2.3. Der einzige Unterschied bestand darin, dass keine Instruktion bezüglich Attraktivität der Zielobjekte gegeben wurde.

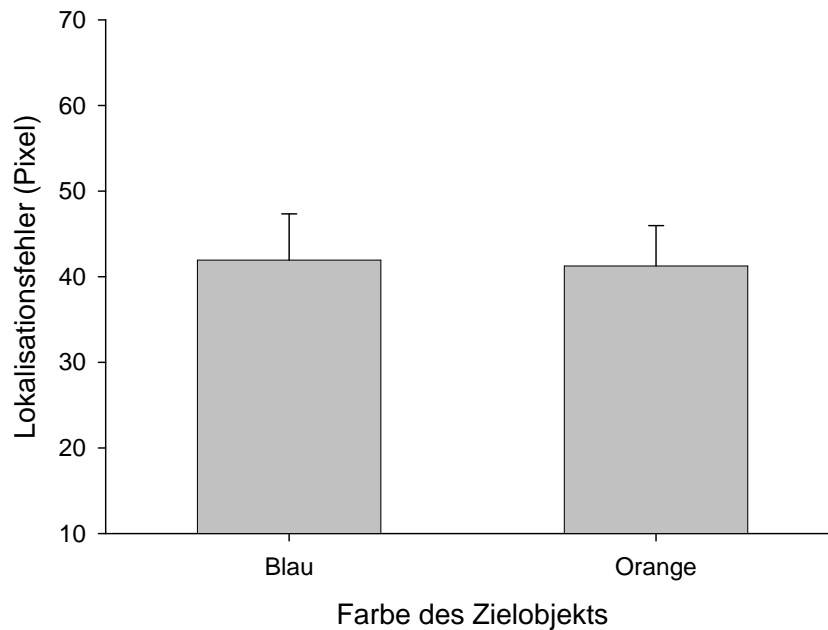


Abbildung 45: Resultate von Experiment 2.7. Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der Farbe der Landmarke. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

### 3.8.2 Resultate

Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Farbe des Zielobjekts und Bewegungsrichtung sowie dem Zwischensubjektfaktoren Geschlecht der Versuchsperson.

Die Daten der Lokalisationsfehler sind in Abbildung 45 dargestellt. Der Faktor Geschlecht wirkte sich nicht auf die Lokalisationsfehler aus ( $F < 1, p = .48, \eta^2 = .07$ ). Dieser Faktor wurde nicht in die weitere Datenauswertung miteinbezogen. Weder die Farbe des Zielobjekts ( $F < 1, p = .73, \eta^2 = .01$ ) noch die Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .36, \eta^2 = .10$ ) noch die Interaktion dieser beiden Faktoren ( $F(1, 9) = 1.47, p = .26, \eta^2 = .14$ ) hatte einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler.

### 3.8.3 Diskussion

Die Farbe des Zielobjekts hatte keinen Effekt auf die Grösse des Lokalisationsfehlers. Die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Attraktivitäten

in Experiment 2.2 und der abstrakten Bedingung von Experiment 2.3 können also definitiv nicht auf die unterschiedlichen Farben der abstrakten Zielobjekte zurückgeführt werden.

### **3.9 Experiment 2.8 - Kontrolle der Wirkung der konkreten Zielobjekte (Käse, Katze) als Landmarke**

In Experiment 2.7 konnte gezeigt werden, dass die Farbe des Zielobjekts in den abstrakten Bedingungen von Experiment 2.2 und 2.3 keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler hatte. In Experiment 2.8 sollte zusätzlich überprüft werden, ob auch in der konkreten Bedingung von Experiment 2.1 und 2.3 die beiden Bilder von Katze und Käse zu keinem Unterschied im Lokalisationsfehler führen.

#### **3.9.1 Methode**

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (6 Frauen und 4 Männer, Durchschnittsalter: 24;3, Altersbereich: 20;2 bis 29;7). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Das Untersuchungsmaterial von Experiment 2.8 war identisch mit demjenigen aus den konkreten Bedingungen von Experiment 2.3. Der einzige Unterschied bestand darin, dass es nicht eine Maus war, die sich über den Bildschirm bewegte, sondern ein blaues kreisförmiges Target mit rotem Zentrum wie in der abstrakten Bedingung von Experiment 2.3. Mit dieser Massnahme sollte vermieden werden, dass die Aufgabe durch einen impliziten semantischen Inhalt zu einem Unterschied im Lokalisationsfehler führen konnte.

**Prozedur.** Die Prozedur war identisch mit derjenigen der konkreten Bedingung aus Experiment 2.3. Der einzige Unterschied bestand darin, dass keine Instruktion bezüglich Attraktivität der Zielobjekte gegeben wurde (Für eine schematische Darstellung des Versuchsablaufs siehe Abbildung 34, Seite 155.).

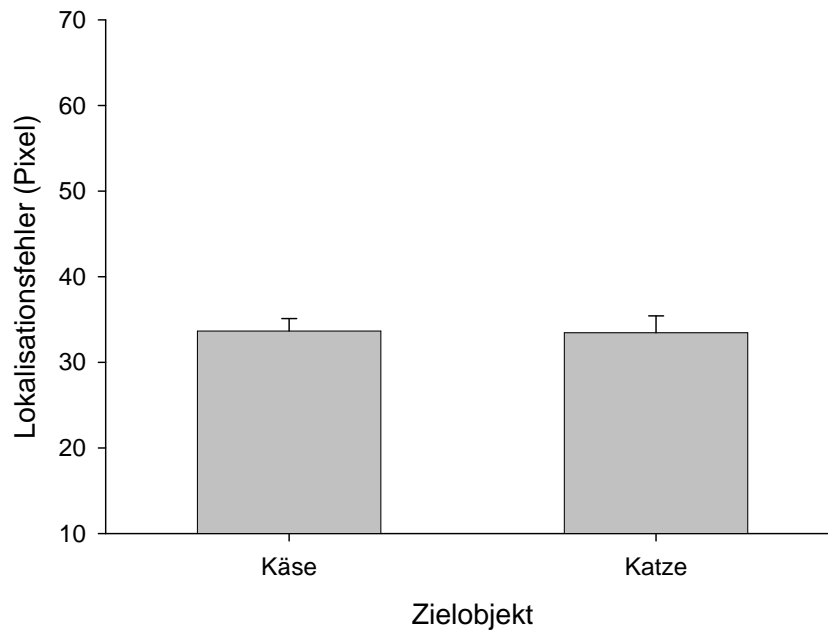


Abbildung 46: Resultate von Experiment 2.8. Lokalisationsfehler in Abhängigkeit des Aussehens der konkreten Landmarke (Käse vs. Katze). Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

### 3.9.2 Resultate

Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Art des Zielobjekts (Katze vs. Käse) und Bewegungsrichtung, sowie dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht der Versuchspersonen.

Die Daten der Lokalisationsfehler sind in Abbildung 46 dargestellt. Der Lokalisationsfehler weiblicher Versuchspersonen unterschied sich nicht von dem Lokalisationsfehler männlicher Versuchspersonen ( $F(1, 8) = 1.82, p = .22, \eta^2 = .19$ ). Der Faktor Geschlecht wurde nicht in die weitere Auswertung miteinbezogen.

Die beiden Bilder der Katze und des Käses führten zu keinem unterschiedlichen Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .93, \eta^2 = .00$ ). Die Bewegungsrichtung hatte ebenfalls keinen Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F < 1, p = .67, \eta^2 = .02$ ). Auch die Interaktion dieser beiden Faktoren war nicht signifikant

$(F(1, 9) = 1.03, p = .34, \eta^2 = .10)$ .

### 3.9.3 Diskussion

Die konkreten Bilder von Katze und Käse führten zu keinem unterschiedlichen Lokalisationsfehler. Ein Einfluss von unterschiedlicher Farbe oder Helligkeit der Bilder kann somit ausgeschlossen werden.

## 3.10 Experiment 2.9 - Kontrolle der Helligkeit einer Landmarke

Während der Durchführung der beschriebenen Experimente drängte sich die Frage auf, ob unterschiedliche Farben oder Lichtstärken von Landmarken generell - unabhängig von einem semantischen Inhalt der Aufgabe - die Grösse eines Lokalisationsfehlers beeinflussen können. In Experiment 2.9 wurde die Helligkeit einer Landmarke systematisch variiert, um zu testen, inwiefern dieser Faktor einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler hat. Es könnte sich dabei um einen Alles-oder-Nichts-Einfluss handeln: Sobald eine Landmarke sichtbar ist, vergrössert sich der Lokalisationsfehler, wird danach aber mit steigender Helligkeit der Landmarke nicht mehr grösser. Die Befunde der Experimente 2.4, 2.5, 2.7 und 2.8 sprechen dafür, dass weder Form noch Farbe einer Landmarke einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler haben. Trotzdem könnte die Veränderung der Helligkeit einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler haben, der einer psychophysikalischen Funktion folgt und die präsentierten Landmarken einfach nur zu hell waren, um einen deutlichen Unterschied festzustellen.

### 3.10.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (7 Frauen und 3 Männer, Durchschnittsalter: 23;2, Altersbereich: 20;3 bis 31;0). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

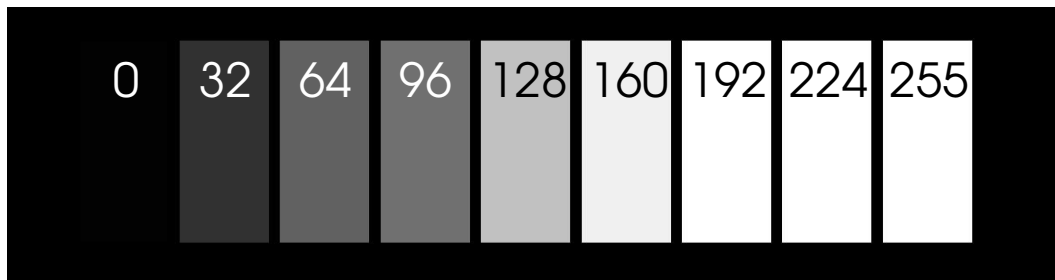


Abbildung 47: Darstellung der unterschiedlichen Helligkeitsabstufungen der Landmarke in Experiment 2.9. Die Zahlen geben den jeweiligen RGB-Wert an. Die Zahl 96 steht zum Beispiel für die RGB-Kombination von Rot-Wert = 96, Grün-Wert = 96 und Blau-Wert = 96.

**Versuchsaufbau.** Die Versuchsanordnung war derjenigen aus der abstrakten Bedingung von Experiment 2.3 sehr ähnlich. Ein kreisförmiges blaues Target mit rotem Zentrum bewegte sich horizontal auf ein Zielobjekt zu und verschwand an einer von drei unterschiedlichen Positionen in der Nähe des horizontalen Bildschirmzentrums. Das Target bewegte sich mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten: 6.0 cm/s und 12.0 cm/s. Die Zielobjekte waren wie in der abstrakten Bedingung von Experiment 2.3 6.6 cm breit, 14.1 cm hoch und 39 mm von dem Bildschirmrand entfernt, welcher der Startposition des Targets gegenüber lag. Im Unterschied zu den vorherigen Experimenten war das Zielobjekt weiss gefärbt. Die Intensität der Farbe wurde mit Hilfe der 256-stufigen RGB-Farbskala variiert. Bei der geringsten Farbintensität (RGB-Wert: 0, 0, 0) war das Zielobjekt nicht vom Bildschirmhintergrund zu unterscheiden. Es war also eigentlich keine Landmarke vorhanden. In insgesamt neun Stufen wurde das Zielobjekt von Schwarz (RGB-Wert: 0, 0, 0) bis zur hellsten Stufe hellweiss (RGB-Wert: 255, 255, 255) variiert (siehe Abbildung 47).

**Prozedur.** Nach den üblichen 20 statischen Einführungsdurchgängen wurden die Experimentalbedingung anhand von 10 Probedurchgängen eingeführt, die zufällig aus den Experimentaldurchgängen ausgewählt wurden. Anschliessend wurden den Versuchspersonen insgesamt 144 Experimentaldurchgänge präsentiert (9 Intensitäten der Landmarke x 2 Targetgeschwindigkeiten x 2 Bewegungsrichtungen x 2 Verschwindepunkte x 2 Messwiederholungen). Nach

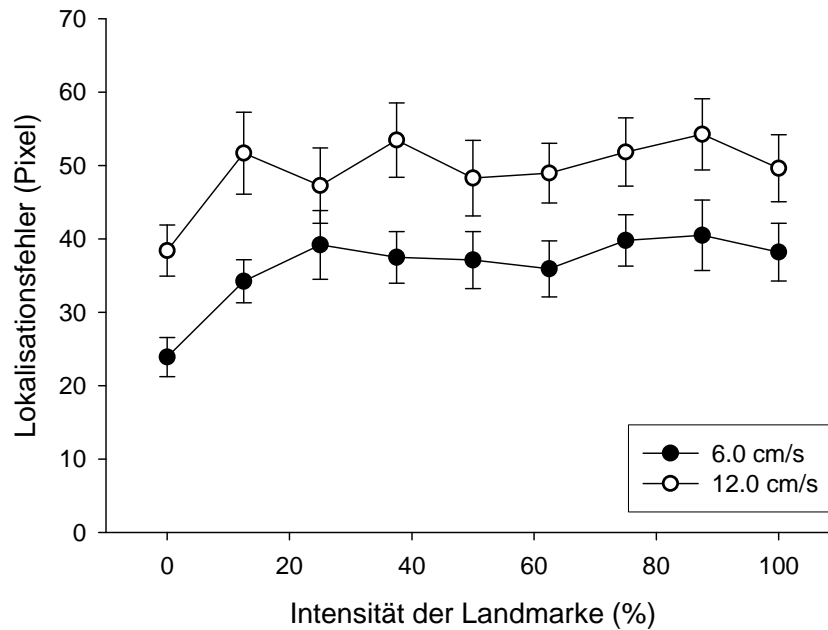


Abbildung 48: Resultate von Experiment 2.9. Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der Targetgeschwindigkeit und der Helligkeitsintensität der Landmarke. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

jeweils 48 Versuchsdurchgängen wurde eine kurze Pause gemacht. Die Dauer dieser Pause konnte von den Versuchspersonen selbst bestimmt werden. Sie betrug im Durchschnitt etwa eine bis zwei Minuten. Die gesamte Dauer des Experimentes lag pro Versuchsperson bei ungefähr 30 Minuten.

### 3.10.2 Resultate

Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung, Targetgeschwindigkeit und Intensität der Landmarke sowie dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht der Versuchsperson.

Die Daten der Lokalisationsfehler von Experiment 2.9 sind in Abbildung 48 dargestellt. Die Grösse des Lokalisationsfehlers der männlichen Versuchspersonen unterschied sich nicht signifikant von der Grösse des Lokalisationsfehlers der weiblichen Versuchspersonen ( $F < 1, p = .68, \eta^2 = .02$ ). Der Faktor Geschlecht wurde nicht in die weitere Datenauswertung miteinbezogen.

Tabelle 2:

*Paarvergleiche der Grösse des Lokalisationsfehlers in Abhängigkeit der unterschiedlichen Intensitäten der Landmarke bei gemittelter Targetgeschwindigkeit*

	Lm01	Lm02	Lm03	Lm04	Lm05	Lm06	Lm07	Lm08	Lm09
Lm01		*	*	*	*	*	*	*	*
Lm02	*		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lm03	*	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lm04	*	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lm05	*	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lm06	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
Lm07	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.
Lm08	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
Lm09	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

*Anmerkung.* \* Die Mittelwerte unterscheiden sich auf einem Signifikanz-Niveau von  $\alpha = .05$ .

Die Bewegungsrichtung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers ( $F < 1, p = .61, \eta^2 = .04$ ). Der Lokalisationsfehler war abhängig von der Targetgeschwindigkeit ( $F(1, 9) = 89.41, p < .001, \eta^2 = .91$ ), je schneller sich das Target bewegte, desto grösser war der produzierte Lokalisationsfehler. Die Intensität der Landmarken hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(8, 72) = 12.33, p < .001, \eta^2 = .58$ ). Die Interaktionen der Faktoren hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler (Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .92, \eta^2 = .00$ , Bewegungsrichtung x Intensität der Landmarken:  $F < 1, p = .78, \eta^2 = .06$ , Targetgeschwindigkeit x Intensität der Landmarke:  $F(8, 72) = 1.10, p = .37, \eta^2 = .11$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit x Intensität der Landmarke:  $F < 1, p = .97, \eta^2 = .03$ ).

Ein nach Bonferroni angepasster Mehrfachvergleich zeigt, dass sich der Lokalisationsfehler bei Nichtvorhandensein der Landmarke (Intensität 1: 0, 0, 0) von den Lokalisationsfehlern aller anderen Landmarkenintensitäten unterscheidet. Die anderen Intensitäten der Landmarke führen nicht zu unterschiedlich grossen Lokalisationsfehlern (siehe Tabelle 2).

Da der Lokalisationsfehler bei der Landmarke mit geringster Intensität sich



vom Lokalisationsfehler bei den anderen Landmarken zu unterscheiden schien, wurde für jede Targetgeschwindigkeit einzeln verglichen, ob die Landmarke den Lokalisationsfehler auch noch beeinflusst, wenn die Landmarke 1 nicht in die Datenanalyse miteinbezogen wird. Für die langsamen Targets hatte die Landmarke einen signifikanten Einfluss unter Einbezug der Landmarke 1 ( $F(8, 72) = 8.29, p < .001, \eta^2 = .48$ ). Bei Ausschluss der Landmarke 1 aus der Datenanalyse, hat der Faktor Landmarke keinen signifikanten Einfluss mehr ( $F(7, 63) = 1.51, p = .18, \eta^2 = .14$ ). Bei der schnellen Targetgeschwindigkeit lässt sich das gleiche Muster finden: Alle Landmarken miteinbezogen hat der Faktor Landmarke einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(8, 72) = 5.52, p < .001, \eta^2 = .38$ ). Wird die Landmarke 1 von der Datenanalyse ausgeschlossen, hat der Faktor Landmarke keinen signifikanten Einfluss mehr ( $F(7, 63) = 1.53, p = .17, \eta^2 = .15$ ).

Werden die Daten über die beiden Targetgeschwindigkeiten gemittelt, zeigt sich ebenfalls dieses Bild. Mit der Landmarke 1 hat die Intensität der Landmarken einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(8, 72) = 12.33, p < .001, \eta^2 = .58$ ). Wird die Landmarke 1 aus der Analyse ausgeschlossen, zeigt sich dieser Effekt nur noch tendenziell ( $F(7, 63) = 2.01, p = .07, \eta^2 = .18$ ), es besteht eine schwache Tendenz zu einem mit steigender Intensität grösser werdenden Lokalisationsfehler.

**Vergleich einer angepassten psychophysikalischen Funktion mit einer angepassten Alles-oder-Nichts-Funktion.** Die Auswertung mit einer Varianzanalyse hat gezeigt, dass die Helligkeitsintensität der Landmarke keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers zu haben scheint. Allerdings wäre es möglich, dass eine psychophysikalische Funktion zu keinem signifikanten Ergebnis der Varianzanalyse führen könnte, wenn der Anstieg zwischen dem ersten und zweiten Punkt sehr steil ist, und danach sehr stark abflacht. Zu diesem Zweck wurden jeweils eine Kurve, die der psychophysikalischen Funktion folgt und eine Kurve, die einer Alles-oder-Nichts-Funktion folgt, an die Daten angepasst und jeweils miteinander verglichen. Die psychophysikalische Funktion,

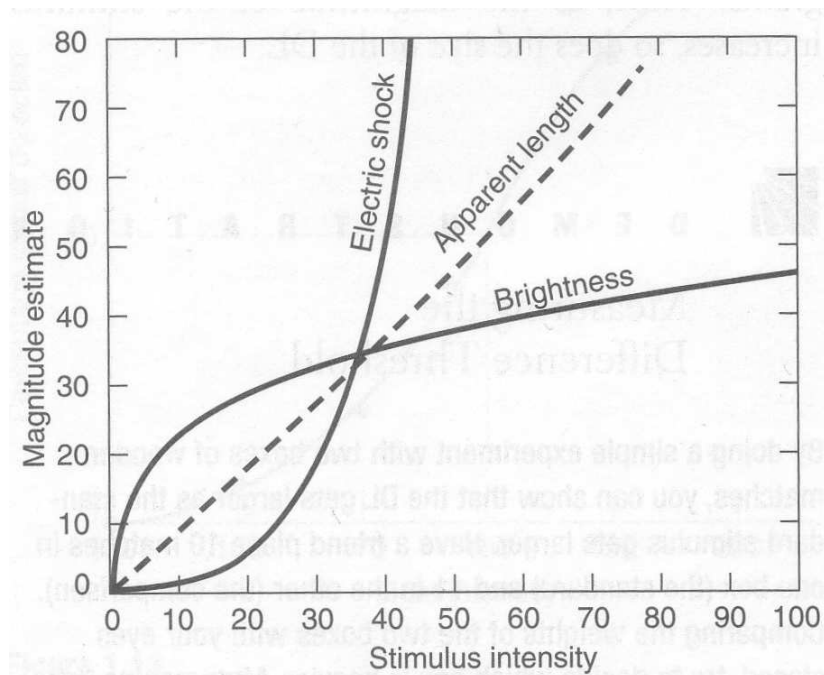


Abbildung 49: Darstellung von Stevens Power Law (Stevens, 1962) anhand der Intensitäten von Helligkeit (Brightness), Länge (apparent length) und Schmerz (electric shock) (Darstellung aus Goldstein, 2002).

das sogenannte Stevens's Power Law (Stevens, 1962) lautet:

$$x = a + b \cdot y^c$$

Dabei ist die wahrgenommene Stimulusintensität  $x$  gleich einer Konstanten  $a$ , welche die Verschiebung auf der  $y$ -Achse angibt, plus eine Konstante  $b$  mal die tatsächliche Stimulusintensität hoch einen Faktor  $c$ . Dieser Faktor  $c$  bestimmt die Form der psychophysikalischen Funktion (siehe auch Abbildung 49, aus Goldstein, 2002). Bei der Wahrnehmung von Helligkeit ist  $c$  kleiner als 1. Je heller ein Objekt ist, desto weniger unterschiedlich wird eine bestimmte Helligkeitsveränderung wahrgenommen; es entsteht eine *komprimierte* Kurve. Die Wahrnehmung von Längen folgt einer linearen Funktion,  $c$  ist in diesem Fall gleich 1, und es entsteht ein linearer Anstieg der Kurve. Bei der Schmerzintensität ist der Faktor  $c$  grösser als 1. Je stärker die Schmerzintensität ist, desto grösser werden die Unterschiede zwischen den einzelnen Intensitäten wahrgenommen, und es entsteht eine *expandierende* Kurve. Da in Experiment 2.9 Helligkeiten verändert wurden,

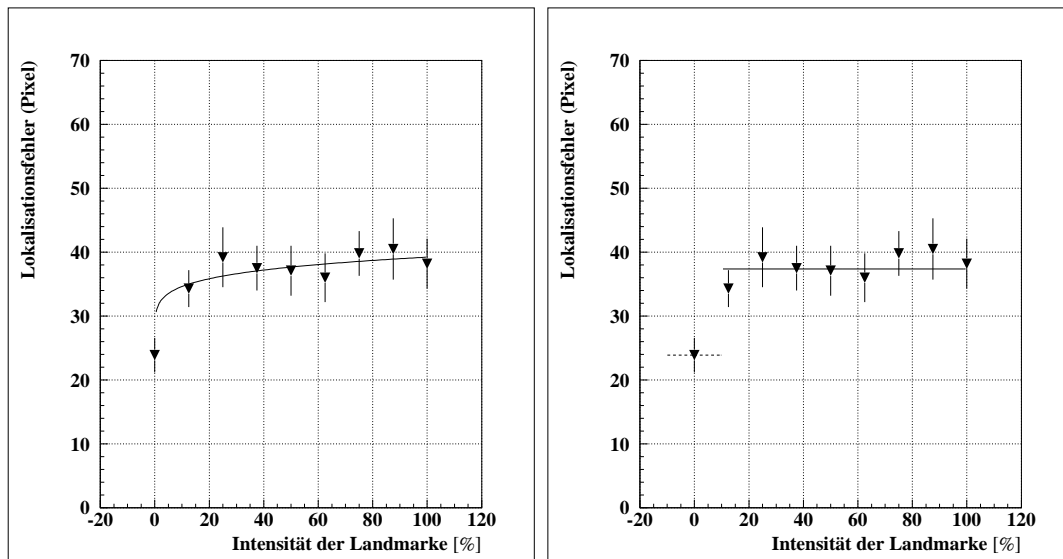


Abbildung 50: Ergebnisse von Experiment 2.9, Targetgeschwindigkeit 6.0 cm/s. An die gemessenen Daten angepasste Funktionen, links psychophysikalische Funktion, rechts, Alles-oder-Nichts-Funktion. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

wurde eine komprimierte Kurve mit einem Faktor  $c$  kleiner als 1 erwartet. Die angepasste psychophysikalische Funktion wurde verglichen mit einer Alles-oder-Nichts-Funktion, bei welcher der Lokalisationsfehler grösser wird, sobald eine Landmarke auf dem Bildschirm zu sehen ist, sich aber mit der Intensität der Landmarke nicht verändert. Die Kennwerte für diese Alles-oder-Nichts-Funktion sind  $d$  und  $e$ , wobei  $d$  für den Wert der ersten Intensität der Landmarke steht und  $e$  für den Durchschnitt der Intensitäten der acht weiteren Landmarken. Die Kurven wurden mit dem Programm MINUIT an die Daten angepasst, einem Programm zur Minimalisierung des  $\chi^2$  (James & Roos, 1989).

**Geschwindigkeit 6.0 cm/s.** Die erhaltenen Daten der angepassten Funktionen sind in Abbildung 50 dargestellt. Die Parameter, die sich für die angepasste psychophysikalische und Alles-oder-Nichts-Funktion ergaben, sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Um die angepassten Kurven miteinander vergleichen zu können müsste eines

Tabelle 3:

*Experiment 2.9: Parameter der an die gemessenen Daten angepasste psychophysikalische Funktion (PPF) und Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit Freiheitsgrad,  $\chi^2/df$  und Confidence-Level. Die Targetgeschwindigkeit betrug 6.0 cm/s.*

	a / d	b / e	c	df	$\chi^2/df$	Confidence-Level
PPF	$23.9 \pm 3.8$	$7.5 \pm 16.0$	$.15 \pm .48$	6	.19	.99
ANF	$23.9 \pm 2.7$	$37.4 \pm 1.3$		7	.39	.99

der beiden  $\chi^2/df = 1$  sein, um einen Confidence-Level<sup>9</sup> von .5 zu erhalten.

Wie man aus den Abbildungen 50 und 51 erkennt, sind die Werte der Lokalisationsfehler mit ihren Standardabweichungen nicht statistisch verteilt; Die Standardfehler sind dafür zu gross. Der Ursprung dieser Korrelation liegt darin, dass bei verschiedener Intensität der Landmarke der Lokalisationsfehler der einzelnen Versuchspersonen nicht unabhängig ist. Weil dieselben Versuchspersonen den Versuch durchführen, sind die Lokalisationsfehler bei jeder Versuchsperson ähnlich verteilt. In solchen Fällen ist es unumgänglich, die Standardabweichung zu verkleinern, um eine statistische Verteilung mit einem  $\chi^2/df = 1$  zu erhalten. Dazu wurden die Standardabweichungen der gemessenen Daten mit einem Verkleinerungs-Faktor korrigiert. Dieser Verkleinerungs-Faktor in einem ersten Schritt so gewählt, dass die angepasste psychophysikalischen Funktion zu einem  $\chi^2/df$  von 1.0 führte. In einem weiteren Schritt wurde der Verkleinerungs-Faktor so gewählt, dass die angepasste Alles-oder-Nichts-Funktion zu einem  $\chi^2/df$  von 1.0 führte.

1) Korrektur zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen Funktion: Die Werte der mit dem Verkleinerungs-Faktor korrigierten und angepassten Kurven sind in Tabelle 4 dargestellt.

Bei einer Korrektur der Standardabweichungen zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen Funktion unterscheiden sich die angepassten

<sup>9</sup>Die Grösse des Confidence-Levels wurde einer Tabelle aus The European Physical Journal - Particles and Fields, 2000, Vol. 15, Seite 193, entnommen.

Tabelle 4:

*Experiment 2.9: Vergleich der für die bestmögliche Anpassung der psychophysikalische Funktion korrigierten und angepassten Funktionen: Psychophysikalische Funktion (PPF) vs. Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit den jeweiligen angepassten und mit dem Verkleinerungs-Faktor (VF) korrigierten Werten a,b,c (für PPF) und d,e (für ANF) sowie den Freiheitsgraden, dem  $\chi^2/df$  und dem Confidence-Level. In der dritten Zeile ist das Signifikanz-Niveau angegeben auf dem sich die beiden Anpassungen bei einseitiger Testung unterscheiden. Die Targetgeschwindigkeit betrug 6.0 cm/s.*

	VF	a / d	b / e	c	df	$\chi^2/df$	Confidence-Level
PPF	.43	$23.9 \pm 1.3$	$7.5 \pm 4.2$	$.16 \pm .13$	6	1.0	.5
ANF	.43	$23.9 \pm 1.2$	$37.4 \pm 0.6$		7	2.1	.07
Sig.							$p = .07$

Kurven nur tendenziell voneinander. In der Abbildung 50 ist zu ersehen, dass es schwierig ist, zu beurteilen, welche Kurve besser angepasst ist.

2) Korrektur zur bestmöglichen Anpassung der Alles-oder-Nichts-Funktion: Die Werte der mit dem Verkleinerungs-Faktor korrigierten und angepassten Kurven sind in Tabelle 5 dargestellt.

Bei einer Korrektur der Standardabweichungen der Alles-oder-Nichts-Funktion unterscheiden sich die angepassten Kurven nicht mehr voneinander. Es ist also nicht möglich, zu unterscheiden, welche der beiden Funktionen die gemessenen Daten besser erklären kann.

**Geschwindigkeit 12.0 cm/s.** Mit den Daten der Lokalisationsfehler bei einer Targetgeschwindigkeit von 12.0 cm/s wurde in gleicher Weise verfahren wie mit den Daten der Lokalisationsfehler bei einer Targetgeschwindigkeit von 6.0 cm/s. Die erhaltenen Daten der angepassten Funktionen sind in Abbildung 51 dargestellt. Die Parameter, die sich für die angepasste psychophysikalische und Alles-oder-Nichts-Funktion ergaben, sind in Tabelle 6 ersichtlich.

1) Korrektur zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen

Tabelle 5:

*Experiment 2.9, Standardabweichungen korrigiert zur bestmöglichen Anpassung der Alles-oder-Nichts-Funktion: Psychophysikalische Funktion (PPF) vs. Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit den jeweiligen angepassten und mit dem Verkleinerungs-Faktor (VF) korrigierten Werten  $a, b, c$  (für PPF) und  $d, e$  (für ANF) sowie den Freiheitsgraden, dem  $\chi^2/df$  und dem Confidence-Level. In der dritten Zeile ist das Signifikanz-Niveau angegeben auf dem sich die beiden Anpassungen bei einseitiger Testung unterscheiden. Die Targetgeschwindigkeit betrug 6.0 cm/s.*

	VF	a / d	b / e	c	df	$\chi^2/df$	Confidence-Level
PPF	.62	$23.9 \pm 2.1$	$7.5 \pm 7.6$	$.16 \pm .23$	6	.48	.84
ANF	.62	$23.9 \pm 1.7$	$37.4 \pm .8$		7	1.0	.5
Sig.							$p = .16$

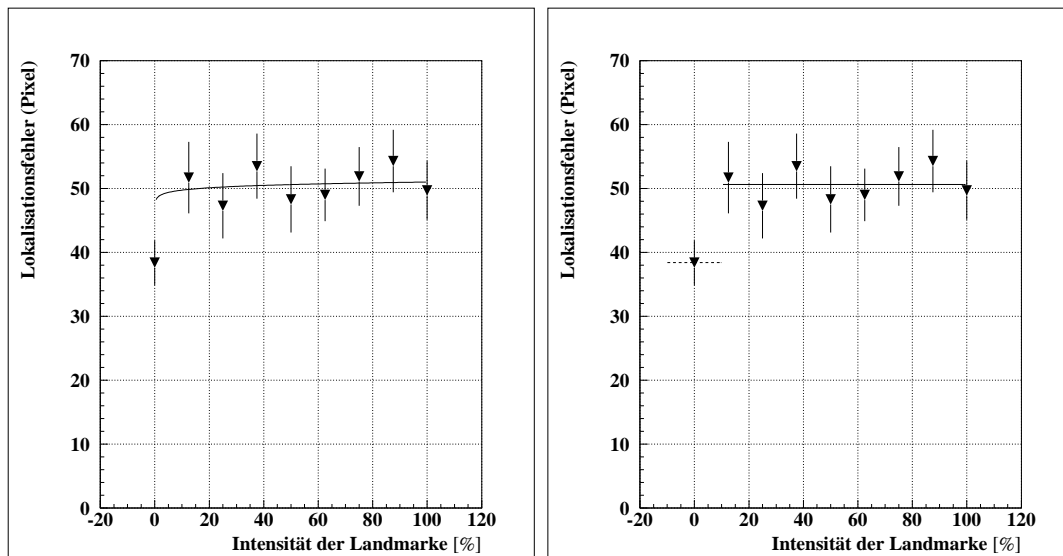


Abbildung 51: Ergebnisse von Experiment 2.9, Targetgeschwindigkeit 12.0 cm/s. An die gemessenen Daten angepasste Funktionen, links psychophysikalische Funktion, rechts, Alles-oder-Nichts-Funktion. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

Tabelle 6:

*Experiment 2.9: Parameter der an die gemessenen Daten angepasste psychophysikalische Funktion (PPF) und Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit Freiheitsgrad,  $\chi^2/df$  und Confidence-Level. Die Targetgeschwindigkeit betrug 12.0 cm/s.*

	a / d	b / e	c	df	$\chi^2/df$	Confidence-Level
PPF	$38.4 \pm 3.4$	$10.2 \pm 19.3$	$.05 \pm .45$	6	.29	.99
ANF	$38.4 \pm 3.5$	$50.6 \pm 1.7$		7	.30	.99

Funktion: Die Werte der mit dem Verkleinerungs-Faktor korrigierten und angepassten Kurven sind in Tabelle 7 dargestellt.

Bei einer Korrektur der Standardabweichungen der psychophysikalischen Funktion unterscheiden sich die angepassten Kurven überhaupt nicht voneinander. Es kann nicht entschieden werden, ob eine der beiden Kurven die gemessenen Werte besser erklären kann. Auf Grund dieser nicht möglichen Unterscheidbarkeit erübrigt sich eine Korrektur der Daten der Alles-oder-Nichts-Funktion, die Anpassungen der Kurven würden sich nicht von den gerade berichteten unterscheiden ( $\chi^2/df$  in beiden Fällen = 1.0).

### 3.10.3 Diskussion

Wird eine Landmarke präsentiert, bewirkt dies eine Vergrößerung des Lokalisationsfehler in Richtung dieser Landmarke. Wie hell diese Landmarke ist, hat keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers. Es ist allerdings keine Aussage möglich, ob die Grösse des Lokalisationsfehlers einer psychophysikalischen Funktion in Abhängigkeit der Helligkeit der Landmarke folgt (ähnlich wie es bei der Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden der Fall ist), oder ob die Grösse des Lokalisationsfehlers eher einem Alles-oder-Nichts-Prinzip folgt, der Lokalisationsfehler also grösser wird, sobald eine Landmarke auf dem Bildschirm sichtbar ist, unabhängig von der Helligkeit dieser Landmarke.

Mögliche Gründe für diese Ergebnisse könnten einerseits sein, dass die

Tabelle 7:

*Experiment 2.9, Standardabweichungen korrigiert zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen Funktion: Psychophysikalische Funktion (PPF) vs. Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit den jeweiligen angepassten und mit dem Verkleinerungs-Faktor (VF) korrigierten Werten a,b,c (für PPF) und d,e (für ANF) sowie den Freiheitsgraden, dem  $\chi^2/df$  und dem Confidence-Level. In der dritten Zeile ist das Signifikanz-Niveau angegeben auf dem sich die beiden Anpassungen bei einseitiger Testung unterscheiden. Die Targetgeschwindigkeit betrug 12.0 cm/s.*

	VF	a / d	b / e	c	df	$\chi^2/df$	Confidence-Level
PPF	.54	$38.4 \pm 1.8$	$10.2 \pm 10.4$	$.05 \pm .24$	6	1.0	.5
ANF	.54	$38.4 \pm 1.9$	$50.6 \pm .9$		7	1.0	.5
Sig.							$p = .50$

Intensitäten der drei hellsten Landmarken, ab der Intensität 192 (RGB-Wert: 192, 192, 192) von Auge nicht mehr unterscheidbar waren. Andererseits könnte auch die Abstufung der Helligkeitsunterschiede in diesem Experiment zu grob gewesen sein, wodurch sich kein klares Datenmuster mehr zeigen konnte.

### 3.11 Experiment 2.10 - Kontrolle der Helligkeit einer Landmarke - Nur der untere Teil des Helligkeitsspektrums wird getestet

In Experiment 2.10 sollte überprüft werden, ob der Lokalisationsfehler im unteren Helligkeitsbereich einer Landmarke einer psychophysikalischen Funktion folgt, oder ob der Einfluss einer Landmarke auf den Lokalisationsfehler tatsächlich einem Alles-oder-Nichts-Prinzip unterliegt.

#### 3.11.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 11 erwachsene Versuchspersonen (6 Frauen und 5 Männer, Durchschnittsalter: 22;8, Altersbereich: 18;8 bis 31;0). Alle Versuchspersonen waren Studierende



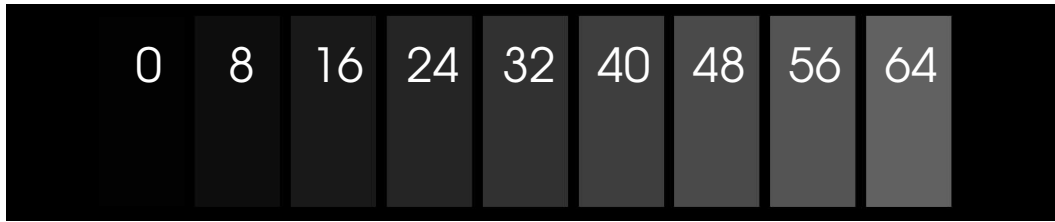


Abbildung 52: Darstellung der unterschiedlichen Helligkeitsabstufungen der Landmarke in Experiment 2.10. Die Zahlen geben den jeweiligen RGB-Wert an. Die Zahl 24 steht zum Beispiel für die RGB-Kombination von Rot-Wert = 24, Grün-Wert = 24 und Blau-Wert = 24.

der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Der Versuchsaufbau war identisch mit demjenigen aus Experiment 2.9. Der einzige Unterschied bestand darin, dass die Intensität der Landmarke in einem weniger breiten Spektrum variiert wurde. Das Zielobjekt mit der geringsten Intensität (RGB-Wert: 0, 0, 0) konnte erneut nicht vom Bildschirmhintergrund unterschieden werden, war also nicht vorhanden. Die stärkste Intensität des Zielobjekts (RGB-Wert: 64, 64, 64) war identisch mit der drittschwächsten Intensität des Zielobjekt aus Experiment 2.9. Die einzelnen Intensitäten sind aus Abbildung 52 ersichtlich.

**Prozedur.** Die Prozedur war identisch mit derjenigen von Experiment 2.6.

### 3.11.2 Resultate

Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung, Targetgeschwindigkeit und Intensität der Landmarke sowie dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht der Versuchsperson.

Die Daten der Lokalisationsfehler von Experiment 2.10 sind in Abbildung 53 dargestellt. Die Grösse des Lokalisationsfehlers der männlichen Versuchspersonen unterschied sich nicht signifikant von der Grösse des Lokalisationsfehlers der weiblichen Versuchspersonen ( $F < 1, p = .58, \eta^2 = .07$ ). Der Faktor Geschlecht

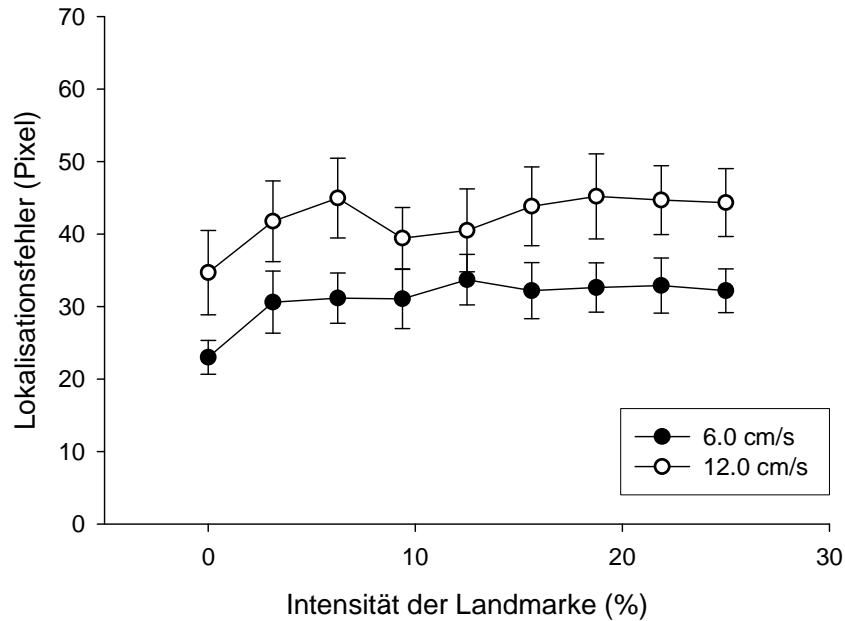


Abbildung 53: Resultate von Experiment 2.10. Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der Targetgeschwindigkeit und der Helligkeitsintensität der Landmarke. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

wurde nicht in die weitere Datenanalyse miteinbezogen.

Die Bewegungsrichtung hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(1,9) = 1.44, p = .26, \eta^2 = .13$ ). Die Targetgeschwindigkeit wirkte sich signifikant auf den Lokalisationsfehler aus ( $F(1,9) = 21.49, p < .01, \eta^2 = .71$ ), der Lokalisationsfehler war bei sich schnell bewegenden Targets grösser als bei sich langsam bewegenden Targets. Die Intensität der Landmarken hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(8,72) = 5.83, p < .001, \eta^2 = .39$ ). Keine der Interaktionen der Faktoren hatte einen signifikanten Effekt auf den Lokalisationsfehler (Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit:  $F(1,8) = 1.16, p = .31, \eta^2 = .12$ , Bewegungsrichtung x Intensität der Landmarke:  $F < 1, p = .72, \eta^2 = .07$ , Targetgeschwindigkeit x Intensität der Landmarke:  $F < 1, p = .59, \eta^2 = .08$ , Bewegungsrichtung x Targetgeschwindigkeit x Intensität der Landmarke:  $F(8,72) = 1.48, p = .18, \eta^2 = .14$ ).

Aus Abbildung 53 ist wie in Experiment 2.9 ersichtlich, dass sich die Landmarke mit geringster Intensität sich von allen anderen Landmarken unter-

Tabelle 8:

*Paarvergleiche der Grösse des Lokalisationsfehlers in Abhängigkeit der unterschiedlichen Intensitäten der Landmarke bei gemittelter Targetgeschwindigkeit*

	Lm01	Lm02	Lm03	Lm04	Lm05	Lm06	Lm07	Lm08	Lm09
Lm01		n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.
Lm02	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lm03	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lm04	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lm05	*	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lm06	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
Lm07	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.
Lm08	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
Lm09	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

*Anmerkung.* \* Die Mittelwerte unterscheiden sich auf einem Signifikanz-Niveau von  $\alpha = .05$ .

scheidet. Deshalb wurde für jede Targetgeschwindigkeit einzeln verglichen, ob die Landmarke den Lokalisationsfehler auch noch beeinflusst, wenn die Landmarke 1 nicht in die Datenanalyse miteinbezogen wird. Für die langsamen Targets hat die Landmarke einen signifikanten Einfluss unter Einbezug der Landmarke 1 ( $F(8, 72) = 4.70, p < .001, \eta^2 = .34$ ). Bei Ausschluss der Landmarke 1 aus der Datenanalyse, hat der Faktor Landmarke keinen signifikanten Einfluss mehr ( $F < 1, p = .79, \eta^2 = .06$ ). Bei der schnellen Targetgeschwindigkeit ist das gleiche Muster zu finden. Alle Landmarken miteinbezogen hat der Faktor Landmarke einen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler ( $F(8, 72) = 2.94, p < .01, \eta^2 = .25$ ). Wird die Landmarke 1 von der Datenanalyse ausgeschlossen, hat der Faktor Landmarke keinen signifikanten Einfluss mehr ( $F(7, 63) = 1.51, p = .18, \eta^2 = .14$ ). Über die beiden Targetgeschwindigkeiten gemittelt, zeigt sich erneut das gleiche Bild. Führt man die Datenanalyse mit Landmarke 1 durch, zeigt sich ein signifikanter Effekt der Intensität der Landmarke ( $F(8, 72) = 5.83, p < .001, \eta^2 = .39$ ). Schliesst man die Landmarke 1 von der Analyse aus, verschwindet dieser Einfluss der Landmarkenintensität ( $F(7, 63) = 1.17, p = .33, \eta^2 = .12$ ).

Ein nach Bonferroni angepasster Mehrfachvergleich zeigt, dass sich nur die Landmarken mit den Intensitäten 5 und 7 von der Landmarke mit Intensität

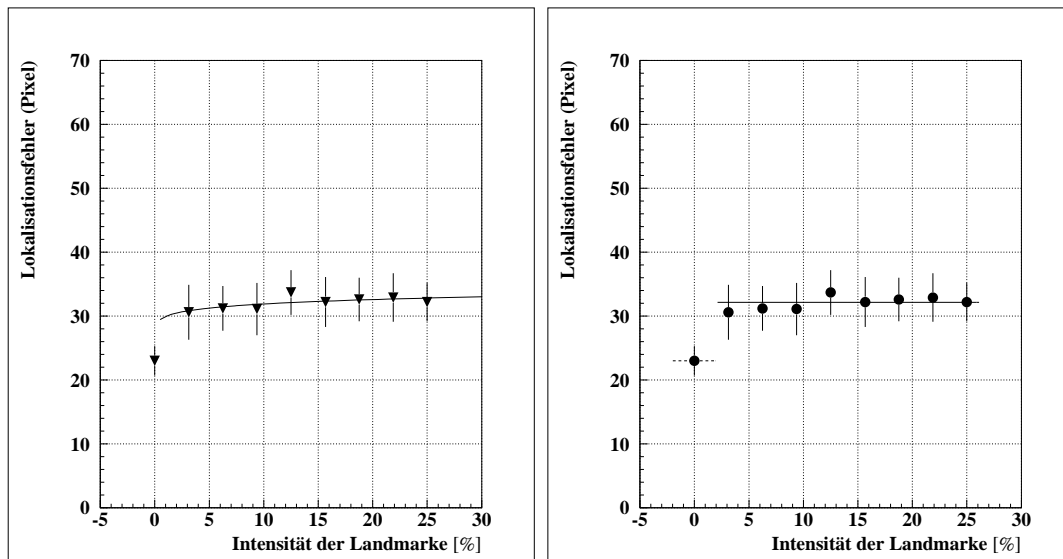


Abbildung 54: Ergebnisse von Experiment 2.10, Targetgeschwindigkeit 6.0 cm/s. An die gemessenen Daten angepasste Funktionen, links psychophysikalische Funktion, rechts, Alles-oder-Nichts-Funktion. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

1 unterscheiden, alle anderen Intensitäten unterscheiden sich nicht voneinander (siehe Tabelle 8).

**Vergleich einer angepassten psychophysikalischen Funktion mit einer Alles-oder-Nichts-Funktion.** Wie in Experiment 2.9 wurde auch hier versucht, die erhaltenen Daten mit einer psychophysikalischen Funktion oder einer Alles-oder-Nichts-Funktion zu vergleichen. Es werden wiederum die Daten nach den beiden Targetgeschwindigkeiten getrennt analysiert.

**Targetgeschwindigkeit 6.0 cm/s.** Mit den Daten der Lokalisationsfehler wurde in gleicher Weise verfahren wie mit den Daten der Lokalisationsfehler in Experiment 2.9. Die erhaltenen Daten der angepassten Funktionen sind in Abbildung 54 dargestellt. Die Parameter, die sich für die angepasste psychophysikalische und Alles-oder-Nichts-Funktion ergaben, sind in Tabelle 9 ersichtlich.

1) Korrektur zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen Funktion: Die Werte der mit dem Verkleinerungs-Faktor korrigierten und angepassten Kurven sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 9:

*Experiment 2.10: Parameter der an die gemessenen Daten angepasste psychophysikalische Funktion (PPF) und Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit Freiheitsgrad,  $\chi^2/\text{df}$  und Confidence-Level. Die Targetgeschwindigkeit betrug 6.0 cm/s.*

	a / d	b / e	c	df	$\chi^2/df$	Confidence-Level
PPF	$23.0 \pm 2.4$	$6.9 \pm 7.6$	$.11 \pm .37$	6	.05	.99
ANF	$23.0 \pm 2.3$	$32.2 \pm 1.3$		7	.09	.99

Tabelle 10:

*Experiment 2.10, Standardabweichungen korrigiert zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen Funktion: Psychophysikalische Funktion (PPF) vs. Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit den jeweiligen angepassten und mit dem Verkleinerungs-Faktor (VF) korrigierten Werten a,b,c (für PPF) und d,e (für ANF) sowie den Freiheitsgraden, dem  $\chi^2/\text{df}$  und dem Confidence-Level. In der dritten Zeile ist das Signifikanz-Niveau angegeben auf dem sich die beiden Anpassungen bei einseitiger Testung unterscheiden. Die Targetgeschwindigkeit betrug 6.0 cm/s.*

[illegible]

Tabelle 11:

*Experiment 2.10, Standardabweichungen korrigiert zur bestmöglichen Anpassung der Alles-oder-Nichts-Funktion: Psychophysikalische Funktion (PPF) vs. Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit den jeweiligen angepassten und mit dem Verkleinerungs-Faktor (VF) korrigierten Werten a,b,c (für PPF) und d,e (für ANF) sowie den Freiheitsgraden, dem  $\chi^2/df$  und dem Confidence-Level. In der dritten Zeile ist das Signifikanz-Niveau angegeben auf dem sich die beiden Anpassungen bei einseitiger Testung unterscheiden. Die Targetgeschwindigkeit betrug 6.0 cm/s.*

	VF	a / d	b / e	c	df	$\chi^2/df$	Confidence-Level
PPF	.29	23.0 $\pm$ .7	6.9 $\pm$ 1.7	.11 $\pm$ .08	6	.58	.70
ANF	.29	23.0 $\pm$ .7	32.2 $\pm$ .4		7	1.0	.5
Sig.							$p = .30$

Bei einer Korrektur der Standardabweichungen der psychophysikalischen Funktion unterscheiden sich die angepassten Kurven nicht voneinander, es kann also statistisch nicht beurteilt werden, welche der beiden Funktionen die erhaltenen Daten besser beschreibt. In der Abbildung 54 ist zu sehen, dass es auch schwierig ist, von Auge zu beurteilen, welche Funktion die gemessenen Daten besser beschreibt.

2) Korrektur zur bestmöglichen der Alles-oder-Nichts-Funktion: Die Werte der mit dem Verkleinerungs-Faktor korrigierten und angepassten Kurven sind in Tabelle 11 dargestellt.

Bei einer Korrektur der Standardabweichungen der Alles-oder-Nichts-Funktion unterscheiden sich die angepassten Kurven nicht mehr voneinander. Es ist also statistisch nicht möglich, zu unterscheiden, welche der beiden Funktionen die gemessenen Daten besser erklären kann.

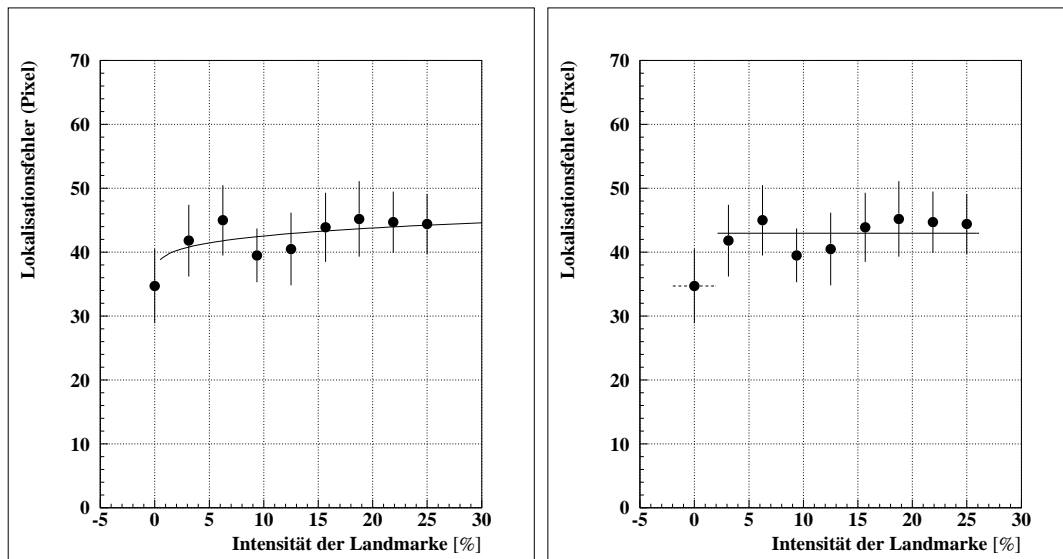


Abbildung 55: Ergebnisse von Experiment 2.10, Targetgeschwindigkeit 12.0 cm/s. An die gemessenen Daten angepasste Funktionen, links psychophysikalische Funktion, rechts, Alles-oder-Nichts-Funktion. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

**Targetgeschwindigkeit 12.0 cm/s.** Mit den Daten der Lokalisationsfehler wurde in gleicher Weise verfahren wie mit den Daten der Lokalisationsfehler bei einer Targetgeschwindigkeit von 6.0 cm/s. Die erhaltenen Daten der angepassten Funktionen sind in Abbildung 55 dargestellt. Die Parameter, die sich für die angepasste psychophysikalische und Alles-oder-Nichts-Funktion ergaben, sind in Tabelle 12 ersichtlich.

1) Korrektur zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen Funktion: Die Werte der mit dem Verkleinerungs-Faktor korrigierten und angepassten Kurven sind in Tabelle 13 dargestellt.

Bei einer Korrektur der Standardabweichungen um die psychophysikalische Funktion bestmöglichst anzupassen, unterscheiden sich die angepassten Kurven nicht voneinander. In der Abbildung 55 ist zu ersehen, dass es erneut schwierig ist, zu beurteilen, welche Funktion besser die gemessenen Daten erklären kann.

2) Korrektur zur bestmöglichen der Alles-oder-Nichts-Funktion: Die Werte der mit dem Verkleinerungs-Faktor korrigierten und angepassten Kurven sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 12:

*Experiment 2.10: Parameter der an die gemessenen Daten angepasste psychophysikalische Funktion (PPF) und Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit Freiheitsgrad,  $\chi^2/\text{df}$  und Confidence-Level. Die Targetgeschwindigkeit betrug 12.0 cm/s.*

	a / d	b / e	c	df	$\chi^2/df$	Confidence-Level
PPF	$34.8 \pm 6.6$	$4.7 \pm 14.8$	$.22 \pm .94$	6	.19	.99
ANF	$34.7 \pm 5.8$	$42.9 \pm 1.8$		7	.09	.99

Tabelle 13:

*Experiment 2.10, Standardabweichungen korrigiert zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen Funktion: Psychophysikalische Funktion (PPF) vs. Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit den jeweiligen angepassten und mit dem Verkleinerungs-Faktor (VF) korrigierten Werten a,b,c (für PPF) und d,e (für ANF) sowie den Freiheitsgraden, dem  $\chi^2/\text{df}$  und dem Confidence-Level. In der dritten Zeile ist das Signifikanz-Niveau angegeben auf dem sich die beiden Anpassungen bei einseitiger Testung unterscheiden. Die Targetgeschwindigkeit betrug 12.0 cm/s.*

[illegible]



Tabelle 14:

*Experiment 2.10, Standardabweichungen korrigiert zur bestmöglichen Anpassung der Alles-oder-Nichts-Funktion: Psychophysikalische Funktion (PPF) vs. Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit den jeweiligen angepassten und mit dem Verkleinerungs-Faktor (VF) korrigierten Werten a,b,c (für PPF) und d,e (für ANF) sowie den Freiheitsgraden, dem  $\chi^2/df$  und dem Confidence-Level. In der dritten Zeile ist das Signifikanz-Niveau angegeben auf dem sich die beiden Anpassungen bei einseitiger Testung unterscheiden. Die Targetgeschwindigkeit betrug 12.0 cm/s.*

	VF	a / d	b / e	c	df	$\chi^2/df$	Confidence-Level
PPF	.49	$34.8 \pm 3.5$	$4.7 \pm 7.3$	$.22 \pm .46$	6	.79	.54
ANF	.49	$34.7 \pm 2.8$	$42.9 \pm .9$		7	1.0	.5
Sig.							$p = .46$

Bei einer Korrektur der Standardabweichungen um die Alles-oder-Nichts-Funktion bestmöglichst anzupassen, unterscheiden sich die angepassten Kurven nicht voneinander. Es ist also statistisch nicht möglich, zu unterscheiden, welche der beiden Funktionen die gemessenen Daten besser erklären kann.

### 3.11.3 Diskussion - erster Teil

Auch in dieser Bedingung, in der nur die Helligkeitsintensitäten der Landmarken bis 25 % der maximalen Intensitäten präsentiert wurden, scheint die Helligkeit der Landmarke keinen eindeutigen Einfluss auf den Lokalisationsfehler zu haben. Sobald eine Landmarke auf dem Bildschirm zu sehen ist, steigt die Grösse des Lokalisationsfehlers an. Mit zunehmender Helligkeit der Landmarke zeigt sich aber keine statistische signifikante Veränderung in der Grösse des Lokalisationsfehlers mehr. Der Effekt der Landmarke ist also ähnlich wie derjenige in Experiment 2.9. Allerdings zeigen die Einzelvergleiche und die grösseren Varianzen in Experiment 2.10, dass der Unterschied zwischen den Bedingungen mit Landmarke und der Bedingung ohne Landmarke nicht mehr so deutlich ist.

Ein weiterer Faktor, der die nicht eindeutigen Ergebnisse verursacht haben

könnte, ist die geringe Anzahl von Messwiederholungen pro Versuchsbedingung. Durch die Präsentation von zwei Targetgeschwindigkeiten, die eigentlich nicht nötig gewesen wäre, konnten nur acht Messwiederholungen präsentiert werden, was beim Touchscreen-Paradigma je nach Fragestellung unter Umständen zu wenig sein kann (siehe auch Experiment 2.1). Aus diesem Grund wurden die Daten von Experiment 2.9 und 2.10 zusammen ausgewertet, gemittelt über die beiden Targetgeschwindigkeiten.

**Vergleich der Lokalisationsfehler von Experiment 2.9 mit Experiment 2.10.** Die Daten der Lokalisationsfehler aus Experiment 2.9 wurden mit denjenigen aus Experiment 2.10 verglichen. Dazu wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Bewegungsrichtung und Targetgeschwindigkeit, sowie den Zwischensubjektfaktoren Experimentalbedingung.

Diese zeigt, dass sich die beiden Experimentalbedingungen nicht signifikant voneinander unterscheiden ( $F(1, 18) = 1.31, p = .27, \eta^2 = .07$ ). Auch die Interaktionen mit den Innersubjektfaktoren werden nicht signifikant (Experimentalbedingung x Targetgeschwindigkeit:  $F < 1, p = .49, \eta^2 = .3$ , Experimentalbedingung x Intensität der Landmarke:  $F(8, 144) = 1.54, p = .14, \eta^2 = .08$ , Experimentalbedingung x Targetgeschwindigkeit x Intensität der Landmarke:  $F(8, 144) = 1.27, p = .27, \eta^2 = .07$ ).

Weiter wurden eine psychophysikalische Funktion und eine Alles-oder-Nichts-Funktion an die Daten angepasst, die erhaltenen Kurven sind in Abbildung 56 dargestellt. Im Folgenden werden die korrigierten Funktionen dargestellt.

1) Korrektur zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen Funktion: Die Werte der mit dem Verkleinerungs-Faktor korrigierten und angepassten Kurven sind in Tabelle 15 dargestellt.

Bei einer Korrektur der Standardabweichungen zur bestmöglichen Anpassung der psychophysikalischen Funktion unterscheiden sich die angepassten Kurven voneinander. In der Abbildung 56 ist zu ersehen, dass die psychophysi-



Tabelle 16:

*Experimente 2.9 und 2.10, Standardabweichungen korrigiert zur bestmöglichen Anpassung der Alles-oder-Nichts-Funktion: Psychophysikalische Funktion (PPF) vs. Alles-oder-Nichts-Funktion (ANF) mit den jeweiligen angepassten und mit dem Verkleinerungs-Faktor (VF) korrigierten Werten a,b,c (für PPF) und d,e (für ANF) sowie den Freiheitsgraden, dem  $\chi^2/df$  und dem Confidence-Level. In der dritten Zeile ist das Signifikanz-Niveau angegeben auf dem sich die beiden Anpassungen bei einseitiger Testung unterscheiden.*

	VF	a / d	b / e	c	df	$\chi^2$	Confidence Level
PPF	1.12	29.0 $\pm$ 4.8	2.8 $\pm$ 4.5	.41 $\pm$ .32	12	.23	.99
ANF	1.12	29.3 $\pm$ 5.4	41.4 $\pm$ 1.5		13	1.0	.5
Sig.							$p < .01$

kalische Funktion die gemessenen Daten deutlich besser beschreiben kann als die Alles-oder-Nichts-Funktion.

2) Korrektur zur bestmöglichen der Alles-oder-Nichts-Funktion: Die Werte der mit dem Verkleinerungs-Faktor korrigierten und angepassten Kurven sind in Tabelle 16 dargestellt.

Auch bei einer Korrektur der Standardabweichungen zur bestmöglichen Anpassung der Alles-oder-Nichts-Funktion unterscheiden sich die angepassten Kurven signifikant voneinander. In der Abbildung 56 ist zu ersehen, dass die psychophysikalische Funktion die gemessenen Daten deutlich besser beschreiben kann als die Alles-oder-Nichts-Funktion.

### 3.11.4 Diskussion - zweiter Teil

Betrachtet man die über die Targetgeschwindigkeit gemittelten Daten der beiden Experimente 2.9 und 2.10 zusammen, zeigt sich, dass die psychophysikalische Funktion deutlich besser die gemessenen Daten beschreiben kann. Die Alles-oder-Nichts-Funktion lässt sich zwar auch anpassen, die Abbildung 56 zeigt aber, dass die Helligkeitsintensitäten kleiner als 25 % alle unterhalb der angepassten Kurve und die Helligkeitsintensitäten grösser als 25 % alle über der angepassten

Kurve liegen. Es scheint also einen Einfluss der Helligkeit einer Landmarke auf den Lokalisationsfehler zu geben, der einer psychophysikalischen Funktion, dem Stevens Power Law folgt. Es besteht also die Möglichkeit, das Representational Momentum zur Messung psychophysikalischer Funktionen von Intensitäten einzusetzen, zumindest im Bereich der Wahrnehmung von Helligkeiten.

Einschränkend darf hier allerdings nicht unerwähnt bleiben, dass die Signifikanz der psychophysikalischen Funktion bei den einzelnen Experimenten 2.9 und 2.10 alleine nicht gefunden wurde. In der letzten Auswertung wurden die Daten von zwei unterschiedlichen Versuchspersonengruppen gemeinsam ausgewertet, ein Gruppeneffekt kann nicht ausgeschlossen werden. Es bedarf einer Replikation dieses Experimentes, um den erhaltenen Befund abzusichern.

Bezogen auf die Ergebnisse der Experimente zum Wissen über die Intention eines sich bewegenden Objekts könnten die hier beschriebenen Daten auf die Gefahr hindeuten, dass die beiden Bilder von Käse und Katze, die in den drei Experimenten 2.1, 2.3 und 2.4 benutzt wurden, möglicherweise an sich schon zu unterschiedlichen Resultaten in der Aufgabe geführt haben könnten, da die Helligkeit der beiden Bilder unterschiedlich war. Dies kann einerseits dadurch ausgeschlossen werden, da in Experiment 2.8 gezeigt werden konnte, dass die beiden Bilder zu keinem Unterschied im Lokalisationsfehler führen, wenn die jeweilige Attribution eines attraktiven und abstossenden Zielobjekts fehlte. Andererseits konnten die beiden Experimente 2.9 und 2.10 zeigen, dass kleine Veränderungen der Helligkeit zu kaum bis gar nicht messbaren Unterschieden im Lokalisationsfehler führen. Die gefundenen Unterschiede zwischen der Bedingung, in der sich eine Maus auf ein Stück Käse zu bewegt und der Bedingung in der die Maus sich auf eine Katze zu bewegt, können also nicht auf die unterschiedliche Helligkeit von Käse und Katze zu Stande gekommen sein.

### **3.12 Experiment 2.11 - Kontrolle des Effekts einer vorgestellten Landmarke**

Nachdem in den vorigen Experimenten gezeigt werden konnte, dass der Lokalisationsfehler grösser wird sobald eine Landmarke auf dem Bildschirm sichtbar ist,

sollte in Experiment 2.11 geprüft werden, ob eine Landmarke auch einen Einfluss auf den Lokalisationsfehler hat, wenn sie zum Zeitpunkt des Verschwindens des Targets gar nicht mehr sichtbar ist oder sie sich nur vorgestellt wurde. Auf diese Weise könnte geprüft werden, ob es sich bei dem Landmark-Attraction-Effekt (Hubbard & Ruppel, 1999) um einen visuellen Prozess handelt, bei welchem die Augen möglicherweise die Landmarke kurze Zeit fixieren und der Lokalisationsfehler dadurch grösser wird (Kerzel, 2002c, 2002d), oder ob es sich um einen Aufmerksamkeitsprozess handelt, bei welchem die Aufmerksamkeit unabhängig vom Blick auf die Landmarke gerichtet wird.

### 3.12.1 Methode

**Versuchspersonen.** Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieses Experimentes waren 10 erwachsene Versuchspersonen (5 Frauen und 5 Männer, Durchschnittsalter: 25;4, Altersbereich: 20;7 bis 40;11). Alle Versuchspersonen waren Studierende der Universität Zürich und berichteten von normalem Sehvermögen, teilweise erreicht durch den Einsatz eines Hilfsmittels (Brille, Kontaktlinsen).

**Versuchsaufbau.** Der Versuchsaufbau war derselbe wie in Experiment 2.9. Ein kreisförmiges blaues Target mit rotem Zentrum bewegte sich auf ein weisses Zielobjekt zu und verschwand an einer von drei unterschiedlichen Positionen in der Nähe des Bildschirmzentrums. Die Helligkeit des Zielobjekts wurde nicht variiert, sie war immer hellweiss (RGB-Wert: 255, 255, 255). Das Target bewegte sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von 8.0 cm/s horizontal von links nach rechts oder von rechts nach links über den Bildschirm. In vier Bedingungen wurde das Vorhandensein des Zielobjekts folgendermassen variiert: In Bedingung 1 (Baseline) war kein Zielobjekt vorhanden. Die Aufgabe war derjenigen aus Experiment 1.3 sehr ähnlich, nur dass die Geschwindigkeit des Targets hier nicht variiert wurde. In Bedingung 2 (Landmarke) erschien das Zielobjekt gleichzeitig mit dem Target und war sichtbar sowohl während der Phase, in der sich das Target nicht bewegte als auch in der Phase, in der sich das Target bewegte. Das Zielobjekt verschwand gleichzeitig wie das Target. Bedingung 3 (Landmarke verschwindet)

unterschied sich von Bedingung 2 nur insofern, dass das Zielobjekt mit Beginn der Targetbewegung verschwand. Das Zielobjekt war nur sichtbar während das Target statisch war, nicht aber währenddem es sich bewegte. Bedingung 4 (Landmarke vorgestellt) war identisch mit Bedingung 1 ausser, dass die Versuchspersonen die zusätzliche Aufgabe erhielten sich das Zielobjekt vorzustellen.

**Prozedur.** Nach den üblichen 20 statischen Einführungsdurchgängen wurden in jeder Bedingung 10 bewegte, der Bedingung entsprechende Einführungsdurchgänge präsentiert, die zufällig aus den Experimentaldurchgängen der jeweiligen Bedingung ausgewählt wurden. Es folgten pro Bedingung 36 Experimentaldurchgänge (2 Bewegungsrichtungen x 3 Verschwindepunkte x 6 Messwiederholungen). Insgesamt wurden den Versuchspersonen 204 Versuchsdurchgänge präsentiert. Die Dauer des Experimentes betrug pro Versuchsperson ungefähr 20 Minuten.

### 3.12.2 Resultate

Mit den korrigierten Daten der Lokalisationsfehler wurde eine Varianzanalyse gerechnet mit den Innersubjektfaktoren Bedingung (Normal, Landmarke, Landmarke verschwindet, vorgestellte Landmarke), Bewegungsrichtung sowie dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht der Versuchsperson.

**Lokalisationsfehler.** Die Daten der Lokalisationsfehler sind in Abbildung 57 dargestellt. Weibliche Versuchspersonen machten tendenziell einen grösseren Lokalisationsfehler als männliche Versuchspersonen ( $F(1, 8) = 4.44, p = .07, \eta^2 = .36$ ). Dieser Faktor wurde nicht in die weitere Datenauswertung miteinbezogen.

Die verschiedenen Bedingungen wirkten sich unterschiedlich auf den Lokalisationsfehler aus ( $F(3, 27) = 23.47, p < .001, \eta^2 = .72$ ). Der Lokalisationsfehler war am grössten in der Bedingung 'Landmarke'. In der Bedingung 'Landmarke verschwindet' war der Lokalisationsfehler etwas geringer, der Lokalisationsfehler war am kleinsten in der Baseline-Bedingung ohne Landmarke. Der Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen der Bedingung mit vorgestellter Landmarke und

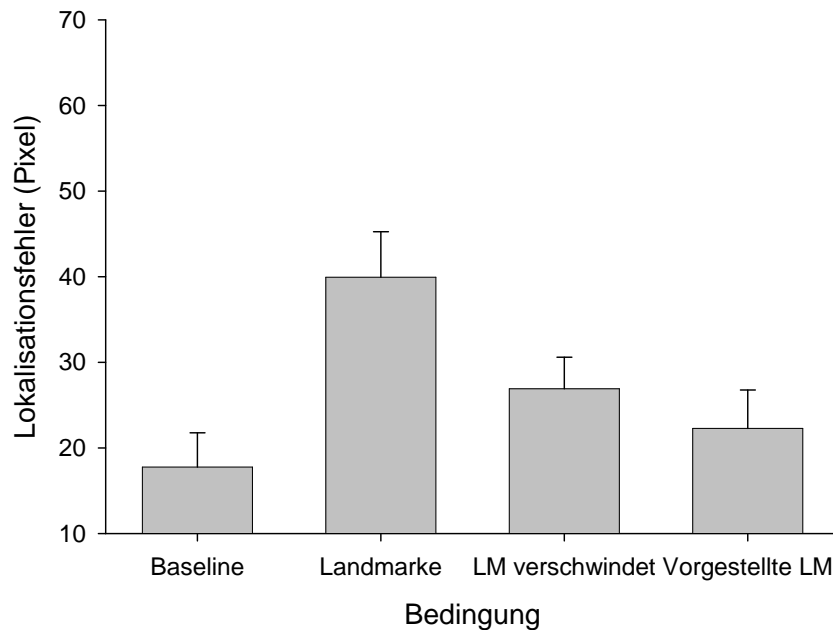


Abbildung 57: Resultate von Experiment 2.11. Lokalisationsfehler in Abhängigkeit einer Landmarke (LM). Der Versuchsaufbau der Bedingungen Baseline und Vorgestellte LM unterschied sich rein visuell nicht voneinander. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Versuchspersonen sich in der Bedingung 'vorgestellte LM' eine LM vorstellen sollten. Positive Werte bedeuten einen Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung. Die Fehlerbalken symbolisieren den Standardfehler.

der Baseline-Bedingung war nicht signifikant ( $F(1, 9) = 3.83, p = .08, \eta^2 = .29$ ), tendenziell war der Lokalisationsfehler aber grösser bei vorgestellter Landmarke, als wenn keine vorhanden war und sich keine vorgestellt wurde. Die nach Bonferroni korrigierten Paarvergleiche sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Die Bewegungsrichtung ( $F < 1, p = .47, \eta^2 = .06$ ) und die Interaktion der beiden Faktoren ( $F < 1, p = .72, \eta^2 = .05$ ) hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Lokalisationsfehler.

### 3.12.3 Diskussion

Die Ergebnisse von Experiment 2.11 zeigen, dass der Lokalisationsfehler davon abhängig war, ob und zu welchem Zeitpunkt ein Zielobjekt auf dem Bildschirm zu sehen war. Der Lokalisationsfehler war am grössten, wenn das Zielobjekt sowohl während der stationären Phase, in der das Target sich noch nicht bewegte, als



Tabelle 17:

*Paarvergleiche (korrigiert nach Bonferroni) der Grösse des Lokalisationsfehlers in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bedingungen*

	Ohne Landmarke	Mit Landmarke	Landmarke verschwindet	Vorgestellte Landmarke
Ohne Landmarke		*	*	n.s.
Mit Landmarke	*		*	*
Landmarke verschwindet	*	*		n.s.
Vorgestellte Landmarke	n.s.	*	n.s.	

*Anmerkung.* \* Die Mittelwerte unterscheiden sich auf einem Signifikanz-Niveau von  $\alpha = .05$ .

auch während der Phase, in der das Target bewegt zu sehen war. Dagegen war der Lokalisationsfehler in der Bedingung, in der das Zielobjekt nie zu sehen war, am kleinsten. Wenn das Zielobjekt mit dem Beginn der Targetbewegung verschwand, war der Lokalisationsfehler kleiner als beim Zielobjekt, welches die ganze Zeit sichtbar war, aber grösser als in der Basisbedingung. Erstaunlicherweise war der Lokalisationsfehler im Vergleich zur Basisbedingung auch grösser - zumindest tendenziell - wenn sich das Objekt nur vorgestellt wurde. Die alleinige Vorstellung eines Zielobjekts reicht also aus, um einen Landmark-Attraction-Effekt zu produzieren.

### 3.13 Allgemeine Diskussion - Experiment 2

Die zweite Untersuchung der vorliegenden Arbeit hatte das Ziel den Einfluss konzeptuellen Wissens über die Intention eines sich bewegenden Objekts auf unsere mentalen Repräsentationen von diesem Objekt zu untersuchen.

In Experiment 2.1 wurde gezeigt werden, dass bei einer Maus die sich auf ein attraktives Zielobjekt (ein Stück Käse) zu bewegt ein zumindest tendenziell grösserer Lokalisationsfehler entsteht, als wenn sich dieselbe Maus auf ein abstossendes Zielobjekt zu bewegt (eine Katze). In Experiment 2.2 wurden die methodischen Mängel von Experiment 2.1 behoben und die Aufgabe in einer abstrakten Form präsentiert. Es zeigte sich ein deutlicher Unterschied zwischen dem attrak-

tiven und dem abstossenden Zielobjekt: Wenn sich das Target auf ein attraktives Zielobjekt zu bewegte, führte das zu einem grösseren Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung als wenn sich das Target auf ein abstossendes Zielobjekt zu bewegte. In Experiment 2.3 wurden die konkrete Bedingung aus Experiment 2.1 und die abstrakte Bedingung aus Experiment 2.2 direkt miteinander verglichen. In beiden Bedingungen führte ein attraktives Zielobjekt wiederum zu einem grösseren Lokalisationsfehler als ein abstossendes. Der Lokalisationsfehler war dabei in der abstrakten Bedingung grösser als in der konkreten. In den Experimenten 2.4 und 2.5 konnte gezeigt werden, dass die Grösse des Zielobjekts nicht der Grund für diesen Unterschied ist. In Experiment 2.6 wurde (bei 7 von 10 Versuchspersonen) gezeigt, dass die Form und Grösse des Targets sich auf den Lokalisationsfehler auswirkt. Der Körper der Maus hat den Lokalisationsfehler entgegen der Bewegungsrichtung verzerrt. Der Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen der konkreten und der abstrakten Bedingung der Experimente 2.3 und 2.4 ist also mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die unterschiedliche Form des Targets in diesen beiden Bedingungen zurückzuführen. Die Daten der Experimente 2.7 und 2.8 zeigten, dass unterschiedliche Farben eines Zielobjekts den Lokalisationsfehler nicht beeinflussen kann. Die Experimente 2.9 und 2.10 zeigten, dass der Lokalisationsfehler abhängig von der Helligkeit des Zielobjekts ist und die Grösse des Lokalisationsfehlers einer psychophysikalischen Funktion in Abhängigkeit der Helligkeit einer Landmarke folgt. In Experiment 2.11 wurde gezeigt, dass alleine schon die Vorstellung eines Zielobjekts ausreicht, den Lokalisationsfehler zumindest tendenziell zu vergrössern.

### **3.13.1 Der Einfluss von konzeptuellem Wissen**

Die Experimente 2.1 bis 2.4 zeigten, dass das Wissen eines Beobachters über die Absicht eines sich bewegenden Objekts die mentale Repräsentation dieses Objekts beeinflussen kann. Ein Objekt, welches sich auf ein attraktives Ziel zu bewegte, führte zu einem grösseren Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung, als ein Objekt welches sich auf ein abstossendes Ziel zu bewegte. Diese Unterschiede wurden sowohl in einer konkreten Version der Aufgabe gefunden, in der

sich eine Maus entweder auf eine Katze oder ein Stück Käse zu bewegte, aber auch in einer abstrakten Version, in der die Maus durch ein kreisförmiges Target und die Bilder von Katze und Käse durch unterschiedlich gefärbte Zielobjekte ohne semantischen Inhalt ersetzt wurden. Wichtig dabei war, dass gerade in der abstrakten Bedingung sich die Versuchsdurchgänge rein visuell nicht voneinander unterschieden. Die Differenz im Lokalisationsfehler kann also nicht durch Unterschiede im visuellen Stimulusmaterial zu Stande gekommen sein, sondern muss durch das Wissen des Beobachters über die Absicht des Objekts verursacht worden sein.

Ähnliche kognitive Einflüsse auf das Representational Momentum wurden in einer Reihe von Untersuchungen gefunden: Erstens konnten Hubbard und Bharucha (1988) zeigen, dass die Erwartung eines Beobachters über die Bewegungsbahn eines Objekts das Representational Momentum beeinflussen kann. Zweitens hatte das konzeptuelle Wissen über die Bewegung eines Objekts in den Befunden von Reed und Vinson (1996) sowie Vinson und Reed (2002) einen Effekt auf das Representational Momentum. Aber auch Effekte der Ausrichtung (Pointedness) eines Objekts können das Representational Momentum beeinflussen (Halpern & Kelly, 1993; McBeath, Morikawa, & Kaiser, 1992; Nagai & Yagi, 2001). Die vorliegenden Ergebnisse stehen also im Einklang mit bisherigen Ergebnissen, in denen das Wissen über ein Objekt und dessen Bewegung das Representational Momentum beeinflussen konnte.

Der Unterschied im Lokalisationsfehler eines sich immer gleich schnell bewegendes Objekts, je nach Bezeichnung der Attraktivität eines Zielobjekts, könnte durch einen Unterschied in der wahrgenommenen Geschwindigkeit erklärt werden. Ein Unterschied in der tatsächlichen Geschwindigkeit eines Objekts führt zu einem unterschiedlich grossen Representational Momentum. Je schneller sich das Objekt bewegt, desto grösser ist der physikalische Impuls und desto grösser wird dementsprechend der Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung (Freyd & Finke, 1985; Hubbard & Bharucha, 1988; siehe auch Experiment 1 der vorliegenden Arbeit). Horizontale Bewegungen werden ausserdem unterschiedlich wahrgenommen: Bewegung von links nach rechts wird als beschleunigt wahrge-

nommen und Bewegung von rechts nach links als abgebremst (Gaffron, 1950; Hansen, 1978 (zitiert in Halpern & Kelly, 1993)). Dies kann auch erklären, warum das Representational Momentum bei einer Bewegung von links nach rechts grösser ist als von rechts nach links (Halpern & Kelly, 1993, siehe auch Experiment 1.2 und 1.3 der vorliegenden Arbeit). Möglicherweise kann nicht nur die objektive Objektgeschwindigkeit sondern auch die subjektiv wahrgenommene Geschwindigkeit die Grösse des Representational Momentums beeinflussen. Auf die Ergebnisse von Experiment 2 der vorliegenden Arbeit übertragen heisst das, dass eine Maus, die sich auf ein Stück Käse zu bewegt sich schneller zu bewegen scheint, als eine Maus, die sich auf eine Katze zu bewegt. Das erscheint durchaus logisch, denn eigentlich muss man davon ausgehen, dass eine Maus sich überhaupt nicht auf eine Katze zu bewegen möchte. Eine Möglichkeit dies weiter zu überprüfen bestünde darin, die attraktive mit der abstossenden Bedingung zu vergleichen, in dem sich das Target nicht auf das jeweilige Zielobjekt zu bewegt, sondern sich von ihm entfernt. Aufgrund der bisher gefundenen Ergebnisse würde hier ein grösseres Representational Momentum bei der Maus, die sich von der Katze entfernt, erwartet werden, als bei der Maus, die sich vom Käse entfernt.

Wie eine wahrgenommene Bewegung beeinflusst werden kann, wurde meist anhand der *apparent motion* genannten Scheinbewegung untersucht. Im klassischen Experiment hierzu wurden zwei räumlich getrennte Punkte, wenn sie in einer bestimmten Frequenz abwechselungsweise aufleuchteten, als ein sich hin- und her bewogender Punkt wahrgenommen (Korte, 1915; Wertheimer, 1912).

Diese *apparent motion* unterliegt dem Einfluss unterschiedlicher perzeptueller *Bottom-Up*-Faktoren, wie der Distanz zwischen den beiden Punkten (Adelson & Bergen, 1985; Ullman, 1979), der Form (Tse & Cavanagh, 1995; Tse, Cavanagh, & Nakayama, 1998) und der Orientierung (Foster, 1975; Hecht & Proffitt, 1991; McBeath & Shepard, 1989; Proffitt, 1988). *Apparent motion* wird selbst dann wahrgenommen, wenn die Scheinbewegung verdeckt ist (Anstis & Ramachandran, 1985). Neben diesen Einflüssen von *Bottom-Up*-Faktoren, können sich aber auch *Top-Down*-Faktoren auf die Wahrnehmung einer solchen Scheinbewegung auswirken. Faktoren wie Aufmerksamkeit oder Wissen über

die Bewegung eines Objekts (Ramachandran & Anstis, 1986; Ramachandran, Armel, Foster, & Stoddard, 1998) und je nach Kultur unterschiedliche, gelernte Bewegungsmuster in der Schrift (Tse & Cavanagh, 2000) können einen Einfluss haben, wie wir eine Bewegung wahrnehmen. Selbst die Erwartung oder das Wissen, wie ein menschlicher Körper sich bewegt, beeinflusst die Wahrnehmung einer Folge von Bildern in welcher die Bewegungssequenz eines menschlichen Körpers abgebildet ist (Chatterjee, Freyd, & Shiffrar, 1996; Ramachandran et al., 1998; Shiffrar & Freyd, 1990, 1993). DeSilva (DeSilva, 1926, zitiert in Chatterjee et al., 1996) konnte schon feststellen, dass eine Bewegung deutlicher wahrgenommen wird, wenn sie durch ein sinnvolles animiertes Muster ausgeführt wird, als durch ein sinnfreies Muster. Ein Einfluss des Wissens über die Absicht eines Objekts auf die Wahrnehmung von Bewegung ist also durchaus vorstellbar. Wie genau dieser Einfluss aussieht bleibt unklar. Möglicherweise könnte es sich hierbei um eine Interaktion des *what*-Systems mit dem *where*-System handeln (Baizer, Ungerleider, & Desimone, 1991; Goodale & Milner, 1992). Das Wissen über die Absicht eines Objekts (*what*) wirkt sich auf die Wahrnehmung der Position des Objekts (*where*) aus. Das Wissen über ein Objekt und die Erwartung, wie sich ein Objekt bewegt, könnten die Augenbewegungen beeinflussen, wodurch die hier berichteten Befunde allenfalls auch erklärt werden können. Es scheinen sich also höhere und tiefere visuelle Areale durch Feedback-Verbindungen gegenseitig zu beeinflussen. Wenn in einer Aufgabe sowohl Top-Down-Prozesse als auch Bottom-Up-Prozesse integriert sind, kann entweder der Top-Down-Prozess dominieren oder der Bottom-Up-Prozess. In der hier gestellten Aufgabe der Lokalisation eines Objekts, welches sich auf unterschiedlich attraktive Ziele zu bewegt, weist vieles auf die Dominanz eines Top-Down-Prozesses hin. Trotz visuell identischem Stimulus-Material zeigten sich Unterschiede im Representational Momentum abhängig vom jeweiligen Wissen eines Beobachters.

### 3.13.2 Einflüsse von Landmarken

In den Experimenten 2.1 bis 2.4 bewegte sich das zu lokalisierende Target immer auf ein Zielobjekt zu, welches entweder als attraktiv oder als abstossend

bezeichnet wurde. Ein Objekt, welches zusätzlich neben dem Target auf dem Bildschirm zu sehen ist, wirkt immer auch als Landmarke (Hubbard & Ruppel, 1999). In den Experimenten 2.5 sowie 2.7 bis 2.11 wurde überprüft, ob für die in den Experimenten 2.1 bis 2.4 gefundenen Ergebnisse eine Erklärung durch die unterschiedlichen Landmarken ausgeschlossen werden kann.

Dass eine Landmarke, auf die sich ein Objekt zu bewegt, zu einem grösseren Lokalisationsfehler in Richtung dieser Landmarke, also in Bewegungsrichtung führt, als wenn keine Landmarke auf dem Bildschirm zu sehen ist, konnte in den Experimenten 2.5, 2.9, 2.10 und 2.11 gezeigt werden. Hier wurde immer die Bedingung, in der keine Landmarke auf dem Bildschirm zu sehen war, verglichen mit Bedingungen in denen entweder unterschiedlich grosse, unterschiedlich helle oder zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt verschwindende Landmarken zu sehen waren. Egal welche Grösse die Landmarken hatten, wie hell sie waren und wann sie verschwanden, der Lokalisationsfehler war immer grösser, wenn eine Landmarke zu sehen war, als wenn während dem gesamten Versuchsdurchgang keine Landmarke zu sehen war. Diese Ergebnisse unterstützen die bisherigen Befunde des von Bryant und Subbiah (1994) sogenannten Landmark-Attraction-Effekts, der beschreibt, dass die Distanz zwischen einem Objekt und einer Landmarke unterschätzt wird (McNamara & Diwadkar, 1997; Sadalla et al., 1980; Tversky & Schiano, 1989). Der Landmark-Attraction-Effekt wurde auch schon bei sich bewegenden und verschwindenden Objekten bei Untersuchungen zum Representational Momentum gefunden (Hubbard & Ruppel, 1999).

Die Grösse der Landmarke hatte dabei keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers. Es zeigte sich ein Alles-oder-Nichts-Effekt: Der Lokalisationsfehler wurde grösser, wenn eine Landmarke sichtbar war, wuchs aber mit zunehmender Grösse dieser Landmarke nicht mehr an. Dieser Befund deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen früherer Studien, die keinen Einfluss der Grösse (Hubbard & Ruppel, 2000) oder der Masse (Hubbard & Ruppel, 1999) einer Landmarke auf das Representational Momentum finden konnten.

Um einen Effekt der Färbung der Landmarke in den Experimenten 2.2 bis 2.4 auszuschliessen, wurde die Farbe eines Zielobjekts getestet, ohne eine Infor-

mation über die Intention des Targets zu geben. Hier zeigte sich, dass eine unterschiedliche Färbung der Landmarke (getestet wurden nur blau und orange) keinen Einfluss auf die Grösse des Lokalisationsfehlers hatte.

Über die Daten der beiden Experimente 2.9 und 2.10, sowie über die in diesen beiden Experimenten präsentierten Targetgeschwindigkeiten gemittelt, konnte ein Effekt der Helligkeit einer Landmarke gezeigt werden. Die Grösse des Lokalisationsfehlers wächst mit steigender Helligkeit der Landmarke an. Dieser Anstieg des Lokalisationsfehlers folgt dabei einer psychophysikalischen Funktion, dem Stevens-Power-Law (Stevens, 1962).

Alle bisher erwähnten Ergebnisse zeigen einen klaren Effekt einer Landmarke auf die Grösse des Lokalisationsfehlers. Dieser Landmark-Attraction-Effekt ist unabhängig von Grösse, Farbe und semantischem Inhalt (Käse oder Katze) der Landmarke. Die Grösse des Lokalisationsfehler ist aber nicht unabhängig von der Helligkeit dieser Landmarke. Dies deutet darauf hin, dass es insgesamt kein Alles-oder-Nichts-Prozess ist, dem der Lokalisationsfehler unterliegt, dass sobald eine Landmarke auf dem Bildschirm erscheint, der Lokalisationsfehler grösser wird, sich aber mit der Veränderung der Landmarke selbst nicht verändert. Bei Grösse und Farbe scheint der Alles-oder-Nichts-Prozess zutreffend zu sein, hier verändert sich der Lokalisationsfehler nicht in Abhängigkeit des Aussehens einer Landmarke. Wenn in diesem Fall keine Landmarke zu sehen ist, unterscheiden sich die Lokalisationsfehler sehr deutlich von den Bedingungen, in denen eine Landmarke zu sehen ist. Bei der Veränderung der Helligkeit einer Landmarke ist das nicht der Fall, die geringsten Helligkeitsintensitäten unterscheiden sich kaum von der Bedingung ohne Landmarke.

Kerzel (2002c, 2002d) erklärt den Landmark-Attraction-Effekt damit, dass die Augen während dem Durchführen der Lokalisationsaufgabe nicht nur das sich bewegende Objekt fixieren, sondern möglicherweise auch kurzzeitig die Landmarke. Dadurch könnte es zu einer Verzerrung der letzten Position eines Objekts in Richtung dieser Landmarke kommen. Durch die schwierigere Entdeckung einer Landmarke mit geringer Helligkeitsintensität könnte es zu weniger solchen Fixationen kommen und der Lokalisationsfehler dadurch geringer

werden.

Erstaunlicherweise zeigt aber Experiment 2.11, dass alleine die Vorstellung einer Landmarke auszureichen scheint, um den Lokalisationsfehler zumindest leicht zu vergrössern. In dieser Bedingung kann kein Objekt mehr von den Augen fixiert werden, es kann höchstens die Erwartung des Vorhandenseins einer Landmarke die Augen dazu bringen, sich vom bewegten Target zu entfernen und die Stelle zu betrachten, an der die Landmarke erwartet wird. Auf jeden Fall ist es auch hier nicht ein rein perzeptueller Faktor, welcher die Vergrösserung des Lokalisationsfehlers verursacht. Die Augen werden durch die Erwartung, die Erinnerung oder die Vorstellung einer Landmarke gesteuert, unterliegen also in jedem Fall einem kognitiven Top-Down-Einfluss.

### **3.13.3 Einfluss von Form und Grösse des Targets**

Neben dem Einfluss der Zuschreibung einer Intention auf den Lokalisationsfehler zeigte sich ein Unterschied im Lokalisationsfehler zwischen der abstrakten und der konkreten Bedingung in den Experimenten 2.3 und 2.4. In der konkreten Version, in der sich eine Maus auf ein Stück Käse oder eine Katze zu bewegte, war der Lokalisationsfehler deutlich kleiner als in der abstrakten Version, in der sich ein kleines rundes Target auf ein entweder orange oder blau gefärbtes Zielobjekt zu bewegte. Dieser Unterschied kann, wie im vorherigen Abschnitt diskutiert wurde, nicht durch die unterschiedliche Grösse, Helligkeit oder Farbe der Zielobjekte in den beiden Bedingungen erklärt werden.

Experiment 2.6 konnte zeigen, dass zumindest bei sieben von zehn Versuchspersonen dieser Unterschied zwischen der konkreten und der abstrakten Bedingung damit erklärt werden kann, dass die Form der Maus den Lokalisationsfehler in der konkreten Bedingung durch eine Art Landmark-Attraction-Effekt entgegen der Bewegungsrichtung verzerrt hat. In der abstrakten Bedingung bewegte sich ein kleines, blaues und kreisförmiges Target mit rotem Zentrum. Nach dem Verschwinden sollte die letzte Position dieses roten Zentrums lokalisiert werden. In der konkreten Bedingung bewegte sich eine Maus mit roter Nase. Diese rote Nase sollte nach dem Verschwinden lokalisiert werden. Die rote Nase lag aber



nicht in der Mitte der Maus, sondern an deren vorderen Ende. Bei der Lokalisation ist es möglicherweise zu einer Art Mittelungsartefakt gekommen. Nicht die letzte Position der roten Nase wurde lokalisiert, sondern der Mittelpunkt des Mauskörpers. Die lokalisierte Position der Maus lag hinter der zu lokalisierenden Position der Nase und führte dadurch zu einem kleineren Lokalisationsfehler in Bewegungsrichtung in der konkreten Bedingung.

## 4 Allgemeine Diskussion

Fasst man die Ergebnisse der beiden hier beschriebenen Untersuchungen kurz zusammen, hat sich in Experiment 1 gezeigt, dass das Phänomen Representational Momentum auch bei Kindern mit dem Touchscreen-Paradigma sehr gut gemessen werden kann. Kinder zeigen dabei einen grösseren Lokalisationsfehler als Erwachsene. Die Grösse des Lokalisationsfehlers steigt an, je jünger die Kinder sind, allerdings nur bis zu einem Alter von sieben Jahren. Der Lokalisationsfehler wird im Alter von fünf Jahren eher wieder kleiner.

Die Ergebnisse aus Experiment 2 unterstützen die Hypothese, dass unsere dynamischen mentalen Repräsentationen durch konzeptuelles Wissen nicht nur über die Funktion eines Objekts sondern auch über die Intention eines sich bewegendes Objekts beeinflusst werden kann. Ein Objekt, welches sich durch ein anderes angezogen fühlt, führt bei einem Beobachter zu einem grösseren Representational Momentum als ein Objekt, welches sich durch ein anderes abgestossen fühlt.

Im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus Experiment 1 und 2 stellt sich die Frage, ob die Befunde damit erklärt werden können, dass unsere Wahrnehmung von Bewegung und Geschwindigkeit nicht unabhängig ist von einerseits dem Wissen über das sich bewegendes Objekt und andererseits den kognitiven Fähigkeiten Bewegung wahrzunehmen und zu repräsentieren an sich, die einer Entwicklung unterliegen. Eine subjektive wahrgenommene Geschwindigkeit, die sich von der objektiven Geschwindigkeit unterscheidet, Wahrnehmung von könnte einerseits erklären, dass Kinder einen grösseren Lokalisationsfehler machen als Erwachsene. Jüngere Kinder nehmen die Objekt-

geschwindigkeit subjektiv schneller wahr als ältere Kinder und Erwachsene. Sie überschätzen die Objektgeschwindigkeit, wie sie auch andere physikalische Dimensionen überschätzen (z.B. Kraft). Erwachsene können physikalische Dimensionen ziemlich genau einschätzen können. Andererseits kann eine subjektiv unterschiedlich wahrgenommene Geschwindigkeit auch dazu führen, dass eine Maus, die sich auf ein Stück Käse zu bewegt, als sich schneller bewegend wahrgenommen wird als eine Maus, die sich auf eine Katze zu bewegt. Ein subjektiv wahrgenommener Unterschied der Geschwindigkeit zwischen den beiden Bedingungen könnte sich also in der Grösse des Lokalisationsfehlers zeigen. Das Representational Momentum könnte also eine Art implizites Mass zur Messung der Wahrnehmung von Geschwindigkeit sein. Diese abschliessenden Gedanken sind durchaus spekulativer Art. Sie eröffnen aber eine Vielzahl an Möglichkeiten, die Wahrnehmung von Bewegung bei Kindern und Erwachsenen auf einfach Art und Weise zu untersuchen. Mit dem Touchscreen-Paradigma steht dazu ein einfaches, effizientes und präzises Werkzeug zur Verfügung, dass gerade in der experimentellen Entwicklungspsychologie vielversprechende Möglichkeiten bietet.

## Literatur

- Adelson, E. H., & Bergen, J. R. (1985). Spatiotemporal energy models for the perception of motion. *Journal of the Optical Society of America A: Optics and Image Science*, 2, 284-299.
- Amorim, M. A., Lang, W., Lindinger, G., Mayer, D., Deecke, L., & Berthoz, A. (2000). Modulation of spatial orientation processing by mental imagery instructions: A MEG study of representational momentum. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 569-582.
- Anderson, J. R. (1976). *Language, memory and thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J. R., & Bower, G. H. (1973). *Human associative memory*. Washington, DC: Winston.
- Anderson, N. H., & Wilkening, F. (1991). Adaptive thinking in intuitive physics. In N. H. Anderson (Ed.), *Contributions to information integration theory. Vol. III: Developmental* (p. 1-42). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anstis, S. M., & Ramachandran, V. S. (1985). Kinetic occlusion by apparent movement. *Perception*, 14, 145-149.
- Ashida, H. (2004). Action-specific extrapolation of target motion in human visual system. *Neuropsychologia*, 42, 1515-1524.
- Aslin, R. N. (1981). Development of smooth pursuit in human infants. In D. F. Fisher, R. A. Monty, & J. W. Sender (Eds.), *Eye movements: Cognition and visual perception*. Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Babler, T. G., & Dannemiller, J. L. (1993). Role of image acceleration in judging landing location of free-falling projectiles. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 15-31.
- Baizer, J., Ungerleider, L. G., & Desimone, R. (1991). Organization of visual inputs to the inferior temporal and posterior parietal cortex in macaques. *Journal of Neuroscience*, 11, 168-190.

- Bertamini, M. (1993). Memory for position and dynamic representations. *Memory and Cognition*, 21, 449-457.
- Bertamini, M. (2002). Representational momentum, internalized dynamics, and perceptual adaptation. *Visual Cognition*, 9, 195-216.
- Biedermann, I., & Gerhardstein, P. C. (1993). Recognizing depth-rotated objects: Evidence and conditions for three-dimensional viewpoint invariance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 1162-1182.
- Boman, D. K., & Hotson, J. R. (1992). Predictive smooth pursuit eye movements near abrupt changes in motion direction. *Vision Research*, 32, 675-689.
- Bowers, D., & Heilman, K. M. (1980). Pseudoneglect: Effects of hemispace on a tactile line bisection task. *Neuropsychologia*, 18, 491-498.
- Bradshaw, J. L. (1987). Line bisection by left-handed preschoolers: A phenomenon of symmetrical neglect. *Brain and Cognition*, 6, 377-385.
- Bradshaw, J. L., Nettleton, N. C., Nathan, G., & Wilson, L. (1985). Bisecting rods and lines: Effects of horizontal and vertical posture on left-side underestimation by normal subjects. *Neuropsychologia*, 23, 421-425.
- Brehaut, J. C., & Tipper, S. P. (1996). Representational momentum and memory for luminance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 480-501.
- Bridgeman, B., Kirch, M., & Sperling, A. (1981). Segregation of cognitive and motor aspects of visual function using induced motion. *Perception and Psychophysics*, 29, 336-342.
- Bridgeman, B., Peery, S., & Anand, S. (1997). Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space. *Perception and Psychophysics*, 59, 456-469.

- Brouwer, A. M., Franz, V. H., & Thornton, I. M. (2003). Grasping and representational momentum. *Journal of Vision*, 3, 126a.
- Brouwer, A. M., Thornton, I. M., & Franz, V. H. (in press). Forward displacement in grasping and judging pliers. *Visual Cognition*.
- Bruner, J. S., Olver, R. R., & Greenfield, P. M. (1966). *Studies in cognitive growth*. Oxford: Wiley.
- Bryant, D. J., & Subbiah, I. (1994). Subjective landmarks in perception and memory for spatial location. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 48, 119-139.
- Burr, D. C., Morrone, M. C., & Ross, J. (2001). Separate visual representations for perception and action revealed by saccadic eye movements. *Current Biology*, 11, 798-802.
- Butter, C. M., Mark, V. W., & Heilman, K. M. (1988). An experimental analysis of factors underlying neglect in line bisection. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 51, 1581-1583.
- Calderone, J. B., & Kaiser, M. K. (1989). Visual acceleration detection: Effect of sign and motion orientation. *Perception and Psychophysics*, 45, 391-394.
- Caviezel, S., Daum, M. M., & Frick, A. (2004). *Die Entwicklung intuitiven Wissens über den Auftrieb*. Posterpräsentation im Rahmen des 2. LzentiandInnen- und Doktorierenden-Kongress des Psychologischen Institutes der Universität Zürich (LiDoKo), 24. Juli 2004.
- Chatterjee, S. H., Freyd, J. J., & Shiffrar, M. (1996). Configural processing in the perception of apparent biological motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 916-929.
- Chokron, S., Agostini, M. D., & De Agostini, M. (1995). Reading habits and line bisection: A developmental approach. *Cognitive Brain Research*, 3, 51-58.

- Chokron, S., & De Agostini, M. (2000). Reading habits influence aesthetic preference. *Cognitive Brain Research*, 10, 45-49.
- Chokron, S., & Imbert, M. (1993). Influence of reading habits on line bisection. *Cognitive Brain Research*, 1, 219-222.
- Collins, A. M., & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 240-248.
- Coltheart, M. (1980). Iconic memory and visible persistence. *Perception and Psychophysics*, 27, 183-228.
- Cooper, E. E. (1976). Demonstration of a mental analog of an external rotation. *Perception and Psychophysics*, 19, 296-302.
- Cooper, E. E., Biedermann, I., & Hummel, J. E. (1992). Metric invariance in object recognition: A review and further evidence. *Canadian Journal of Psychology*, 46, 191-214.
- Cooper, E. E., & Schacter, D. L. (1992). Dissociations between structural and episodic representations of visual objects. *Current Directions in Psychological Science*, 1, 141-146.
- Cooper, E. E., Schacter, D. L., Ballesteros, S., & Moore, C. (1992). Priming and recognition of transformed three-dimensional objects: Effects of size and reflection. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 43-57.
- Cooper, L. A., & Munger, M. P. (1993). Extrapolating and remembering positions along cognitive trajectories: Use and limitations of analogies to physical motion. In N. Eilan (Ed.), *Spatial representation: Problems in philosophy and psychology* (p. 112-131). Malden, MA, US: Blackwell Publishers.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (p. 555 pp.). Oxford, England: Academic.

- Dannemiller, J. L., & Freedland, R. L. (1989). The detection of slow stimulus movement in 2- to 5-month-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 47, 337-355.
- Dannemiller, J. L., & Freedland, R. L. (1991). Detection of relative motion by human infants. *Developmental Psychology*, 27, 67-78.
- Dassonville, P., Bridgeman, B., Bala, J. K., Thiem, P., & Sampanes, A. (2004). The induced Roelofs effect: two visual systems or the shift of a single reference frame? *Vision Research*, 44, 603-611.
- Daum, M. M. (2004). *[Effekte von Kopfbewegungen auf das Representational Momentum]*. Unpublished raw data.
- Daum, M. M., & Frick, A. (2002). Der Einfluss wahrgenommener dynamischer Information auf die Vorhersage von Bewegungsbahnen. In E. van der Meer, H. Hagendorf, R. Beyer, F. Krüger, A. Nuthmann, & S. Schulz (Eds.), *Abstractband zum 43. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs)*. Berlin: Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Daum, M. M., & Huber, S. (2001). Unterschiede in Zielbewegungen bei sich vorhersagbar und sich nicht-vorhersagbar bewegenden Objekten. In A. C. Zimmer, K. Lange, K.-H. Bäuml, R. Loose, R. Scheuchenspflug, O. Tucha, H. Schnell, & R. Findl (Eds.), *Abstractband zur 43. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP)*. Universität Regensburg: Pabst.
- DeSilva, H. R. (1926). An experimental investigation of the determinants of apparent motion. *Journal of Experimental Psychology*, 37, 469-501.
- Dodge, R. (1931). *Conditions and consequences of human variability*. New Haven: Yale University Press.
- Dodge, R., Travis, R. C., & Fox, J., J. C. (1930). Optic nystagmus. III. Characteristics of the slow phase. *Archives of Neurology and Psychiatry Chicago*, 24, 21-34.

- Finke, R. A., & Freyd, J. J. (1985). Transformations of visual memory induced by implied motions of pattern elements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 780-794.
- Finke, R. A., & Freyd, J. J. (1989). Mental extrapolation and cognitive penetrability: Reply to Ranney and proposals for evaluative criteria. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 403-408.
- Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 175-188.
- Finke, R. A., & Shyi, G. C. (1988). Mental extrapolation and representational momentum for complex implied motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14, 112-120.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Foster, D. H. (1975). Visual apparent motion and some preferred paths in the rotation group. *Biological Cybernetics*, 18, 81-89.
- Franz, V. H., Bühlhoff, H. H., Fahle, M., & Thornton, I. M. (2001). Grasping and representational momentum. *Perception*, 30, 87.
- Freimuth, M., & Wapner, S. (1979). The influence of lateral organization on the evaluation of paintings. *British Journal of Psychology*, 70, 211-218.
- Freyd, J. J. (1983a). Representing the dynamics of a static form. *Memory and Cognition*, 11, 342-346.
- Freyd, J. J. (1983b). The mental representation of movement when static stimuli are viewed. *Perception and Psychophysics*, 33, 575-581.
- Freyd, J. J. (1987). Dynamic mental representations. *Psychological Review*, 94, 427-438.



- Freyd, J. J. (1992). Dynamic representations guiding adaptive behavior. In F. Macar (Ed.), *Time, action and cognition: Towards bridging the gap* (p. 309-323). New York, NY, US: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Freyd, J. J. (1993). Five hunches about perceptual processes and dynamic representations. In D. E. Meyer (Ed.), *Attention and performance 14: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience* (p. 99-119). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 126-132.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1985). A velocity effect for representational momentum. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23, 443-446.
- Freyd, J. J., & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 259-268.
- Freyd, J. J., & Jones, K. T. (1994). Representational momentum for a spiral path. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 968-976.
- Freyd, J. J., Kelly, M. H., & DeKay, M. L. (1990). Representational momentum in memory for pitch. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 1107-1117.
- Freyd, J. J., & Miller, G. F. (1992). *Creature Motion* (Tech. Rep. No. 93-3). University of Oregon, Institute of Cognitive and Decision Sciences.
- Freyd, J. J., & Pantzer, T. M. (1995). Static patterns moving in the mind. In S. M. Smith (Ed.), *The creative cognition approach* (p. 181-204). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Freyd, J. J., Pantzer, T. M., & Cheng, J. L. (1988). Representing statics as forces in equilibrium. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 395-407.

- Fröhlich, F. W. (1923). Über die Messung der Empfindungszeit. *Zeitschrift für Sinnesphysiologie*, 54, 58-78.
- Frick, A., Burger, K., Emch, C., Indino, M., Müller, L., Upmane, V., & Daum, M. M. (2004). *Die Waage im Gleichgewicht halten: Die Entwicklung intuitiven Wissens über das Hebelgesetz*. Posterpräsentation im Rahmen des 2. LizentiandInnen- und Doktorierenden-Kongress des Psychologischen Institutes der Universität Zürich (LiDoKo), Zürich, 24. Juli 2004.
- Frick, A., Daum, M. M., & Wilkening, F. (2004). *Ein Kilo Blei ist schwerer als ein Kilo Federn! Der Einfluss sensorimotorischer Information bei der Grössen-Gewichts-Täuschung*. Vortrag im Rahmen der 46. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (Teap), Giessen, 5.-7. April 2004.
- Frick, A., Huber, S., Reips, U.-D., & Krist, H. (2001). Alltagswissen über Pendelschwingungen: ein Altersvergleich. In A. C. Zimmer, K. Lange, K.-H. Bäuml, R. Loose, R. Scheuchenpflug, O. Tucha, H. Schnell, & R. Findl (Eds.), *43. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP)* (p. 39a). Universität Regensburg: Pabst.
- Fujii, T., Fukatsu, R., Yamadori, A., & Kimura, I. (1995). Effect of age on the line bisection test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17, 941-946.
- Futterweit, L. R., & Beilin, H. (1994). Recognition memory for movement in photographs: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 57, 163-179.
- Gaffron, M. (1950). Right and left in pictures. *Art Quarterly*, 13, 312-331.
- Gibson, J. J. (1979). *Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Goldstein, E. B. (2002). *Sensation and Perception*. Pacific Grove, CA: Wadsworth.

- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neuroscience*, 15, 20-25.
- Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., & Carey, D. P. (1991). A neural dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, 349, 154-156.
- Gottsdanker, R., Frick, J. W., & Lockard, R. B. (1961). Identifying the acceleration of visual targets. *British Journal of Psychology*, 52, 31-42.
- Halligan, P. W., & Marshall, J. C. (1989). Line bisection in visuo-spatial neglect: Disproof of a conjecture. *Cortex*, 25, 517-521.
- Halpern, A. R., & Kelly, M. H. (1993). Memory biases in left versus right implied motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 471-484.
- Hansen, C. (1978). *Velocity judgments of objects pictured moving to the right or left*. Unpublished raw data.
- Hay, L. (1978). Accuracy of children in an open-loop task. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 1079-1082.
- Hay, L. (1979). Spation-temporal analysis of movements in children: Motor programs versus feedback in the development of reaching. *Journal of Motor Behavior*, 11, 189-200.
- Hayes, A. E., & Freyd, J. J. (1995). *Attention and representational momentum* (Tech. Rep. No. 95-12). University of Oregon, Institute of Cognitive and Decision Sciences.
- Hayes, A. E., & Freyd, J. J. (2002). Representational momentum when attention is divided. *Visual Cognition*, 9, 8-27.
- Hayes, A. E., & Freyd, J. J. (2004). The effect of an ignored or attended abrupt auditory distractor on representational momentum. *Perception*, 33, 120a.

- Hazelhoff, F. F., & Wiersma, H. (1924). Die Wahrnehmungszeit. *Zeitschrift für Psychologie*, 96, 171-188.
- Hecht, H., & Bertamini, M. (2000). Understanding projectile acceleration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 730-746.
- Hecht, H., & Proffitt, D. R. (1991). Apparent extended body motions in depth. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 1090-1103.
- Heijden, A. H. C. Van der, Geest, J. N. Van der, De Leeuw, F., Krikke, K., & Muessler, J. (1999). Sources of position-perception error for small isolated targets. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, 62, 20-35.
- Hofsten, C. von. (1982). Eye-hand coordination in the newborn. *Developmental Psychology*, 18, 450-461.
- Hubbard, T. L. (1990). Cognitive representation of linear motion: Possible direction and gravity effects in judged displacement. *Memory and Cognition*, 18, 299-309.
- Hubbard, T. L. (1993a). Auditory representational momentum: Musical schemata and modularity. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31, 201-204.
- Hubbard, T. L. (1993b). The effects of context on visual representational momentum. *Memory and Cognition*, 21, 103-114.
- Hubbard, T. L. (1994). Judged displacement: A modular process? *American Journal of Psychology*, 107, 359-373.
- Hubbard, T. L. (1995a). Auditory representational momentum: Surface form, direction, and velocity effects. *American Journal of Psychology*, 108, 255-274.

- Hubbard, T. L. (1995b). Cognitive representation of motion: Evidence for friction and gravity analogues. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 241-254.
- Hubbard, T. L. (1995c). Environmental invariants in the representation of motion: Implied dynamics and representational momentum, gravity, friction, and centripetal force. *Psychonomic Bulletin and Review*, 2, 322-338.
- Hubbard, T. L. (1996). Representational momentum, centripetal force, and curvilinear impetus. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1049-1060.
- Hubbard, T. L. (1997). Target size and displacement along the axis of implied gravitational attraction: Effects of implied weight and evidence of representational gravity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 1484-1493.
- Hubbard, T. L. (1998a). Representational momentum and other displacements in memory as evidence for nonconscious knowledge of physical principles. In S. Hameroff, A. Kaszniak, & A. Scott (Eds.), *Towards a science of consciousness II: The 1996 Tucson discussion and debates*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hubbard, T. L. (1998b). Some effects of representational friction, target size, and memory averaging on memory for vertically moving targets. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 52, 44-49.
- Hubbard, T. L. (1999). How consequences of physical principles influence mental representation: The environmental invariants hypothesis. In P. R. Killeen & W. R. Uttal (Eds.), *Fechner Day 99: The end of 20th century psychophysics. Proceedings of the 15th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*. (p. 274-279). Tempe, AZ: The International Society for Psychophysics.

- Hubbard, T. L., & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Perception and Psychophysics*, *44*, 211-221.
- Hubbard, T. L., Blessum, J. A., & Ruppel, S. E. (2001). Representational momentum and Michotte's „launching effect“paradigm (1946/1963). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *27*, 294-301.
- Hubbard, T. L., Matzenbacher, D. L., & Davis, S. E. (1999). Representational momentum in children: Dynamic information and analogue representation. *Perceptual and Motor Skills*, *88*, 910-916.
- Hubbard, T. L., & Motes, M. A. (2002). Does representational momentum reflect a distortion of the length or the endpoint of a trajectory? *Cognition*, *82*, B89-B99.
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (1999). Representational momentum and the landmark attraction effect. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *53*, 242-256.
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (2000). Spatial memory averaging, the landmark attraction effect, and representational gravity. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *64*, 41-55.
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (2002). A possible role of naive impetus in Michotte's „launching effect“: Evidence from representational momentum. *Visual Cognition*, *9*, 153-176.
- Huber, S., Krist, H., & Wilkening, F. (2003). Judgment and action knowledge in speed adjustment tasks: Experiments in a virtual environment. *Developmental Science*, *6*, 197-210.
- Intraub, H. (2002). Anticipatory spatial representation of natural scenes: Momentum without movement? *Visual Cognition*, *9*, 93-119.

- Intraub, H., Gottesman, C. V., & Bills, A. J. (1998). Effects of perceiving and imagining scenes on memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *24*, 186-201.
- James, F., & Roos, M. (1989). MINUIT, Function Minimization and Error Analysis [Computer Software]. Genf, CH: CERN Program Library, D506.
- Jewell, G., & McCourt, M. E. (2000). Pseudoneglect: A review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia*, *38*, 93-110.
- Johansson, G. (1975). Visual motion perception. *Scientific American*, *232*, 76-88.
- Joiner, R., Messer, D., Light, P., & Littleton, K. (1998). It is best to point for young children: A comparison of children's pointing and dragging. *Computers in Human Behavior*, *14*, 513-529.
- Jones, M. R. (1976). Time, our lost dimension: Toward a new theory of perception, attention, and memory. *Psychological Review*, *83*, 323-355.
- Jouen, F., Lepecq, J. C., Gapenne, O., & Bertenthal, B. I. (2000). Optic flow sensitivity in neonates. *Infant Behavior and Development*, *23*, 271-284.
- Kaiser, M. K., McCloskey, M., & Proffitt, D. R. (1986). Development of intuitive theories of motion: Curvilinear motion in the absence of external forces. *Developmental Psychology*, *22*, 67-71.
- Kaiser, M. K., & Proffitt, D. R. (1984). The development of sensitivity to causally relevant dynamic information. *Child Development*, *55*, 1614-1624.
- Katsanis, J., Iacono, W. G., & Harris, M. (1998). Development of oculomotor functioning in preadolescence, adolescence, and adulthood. *Psychophysiology*, *35*, 64-72.
- Kelly, M. H., & Freyd, J. J. (1987). Explorations of representational momentum. *Cognitive Psychology*, *19*, 369-401.

- Kerzel, D. (2000). Eye movements and visible persistence explain the mislocalization of the final position of a moving target. *Vision Research*, 40, 3703-3715.
- Kerzel, D. (2002a). Attention shifts and memory averaging. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 55A, 425-443.
- Kerzel, D. (2002b). Memory for the position of stationary objects: Disentangling foveal bias and memory averaging. *Vision Research*, 42, 159-167.
- Kerzel, D. (2002c). Representational Momentum: Wahrnehmung oder Kognition? Representational momentum: Dynamics of perceptual processes, not dynamics of mental representations. *Psychologische Rundschau*, 53, 101-108.
- Kerzel, D. (2002d). The locus of „memory displacement“ is at least partially perceptual: Effects of velocity, expectation, friction, memory averaging, and weight. *Perception and Psychophysics*, 64, 680-692.
- Kerzel, D. (2002e). A matter of design: No representational momentum without predictability. *Visual Cognition*, 9, 66-80.
- Kerzel, D. (2003a). Attention maintains mental extrapolation of target position: Irrelevant distractors eliminate forward displacement after implied motion. *Cognition*, 88, 109-131.
- Kerzel, D. (2003b). Centripetal force draws the eyes, not memory of the target, toward the center. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 458-466.
- Kerzel, D. (2003c). Mental extrapolation of target position is strongest with weak motion signals and motor responses. *Vision Research*, 43.
- Kerzel, D., & Gegenfurtner, K. R. (2003). Neuronal processing delays are compensated in the sensorimotor branch of the visual system. *Current Biology*, 13, 1975-1978.



- Kerzel, D., Jordan, J. S., & Muesseler, J. (2001). The role of perception in the mislocalization of the final position of a moving target. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 829-840.
- King, J., & Alloway, N. (1992). Preschooler's use of microcomputers and input devices. *Journal of Educational Computing Research*, 8, 451-468.
- Kirschfeld, K., & Kammer, T. (1999). The Froehlich effect: A consequence of the interaction of visual focal attention and metacontrast. *Vision Research*, 39, 3702-3709.
- Korte, A. (1915). Kinematoskopische Untersuchungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 72, 194-296.
- Kosslyn, S. M. (1978). The representational-development hypothesis. In P. A. Ornstein (Ed.), *Memory development in children* (p. 157-189). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and Mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M. (1999). *Image and Brain*. Boston, MA: MIT Press.
- Kosslyn, S. M., Ganis, G., & Thompson, W. L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nature Reviews: Neuroscience*, 2.
- Kosslyn, S. M., Margolis, J. A., Barrett, A. M., & Goldknopf, E. J. (1990). Age differences in imagery abilities. *Child Development*, 61, 995-1010.
- Kosslyn, S. M., & Pomerantz, J. R. (1977). Imagery, propositions, and the form of internal representations. *Cognitive Psychology*, 9, 52-76.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Kim, I. J., & Alpert, N. M. (1995). Topographical representations of mental images in primary visual cortex. *Nature*, 378, 496-498.

- Kourtzi, Z., & Kanwisher, N. (2000). Activation in human MT/MST by static images with implied motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 48-55.
- Kourtzi, Z., & Nakayama, K. (2002). Distinct mechanisms for the representation of moving and static objects. *Visual Cognition*, 9, 248-264.
- Kowler, E. (1989). Cognitive expectations, not habits, control anticipatory smooth oculomotor pursuit. *Vision Research*, 29, 1049-1057.
- Krekelberg, B., & Lappe, M. (2001). Neuronal latencies and the position of moving objects. *Trends in Neurosciences*, 24, 335-339.
- Kremenitzer, J. P., Vaughan, H. G., Kurtzberg, D., & Dowling, K. (1979). Smooth-pursuit eye movements in the newborn infant. *Child Development*, 50, 442-448.
- Krist, H., Fieberg, E. L., & Wilkening, F. (1993). Intuitive physics in action and judgment: The development of knowledge about projectile motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 952-966.
- Krist, H., Loskill, J., & Schwarz, S. (1996). Intuitive Physik in der Handlung: Perzeptiv-motorisches Wissen ueber Flugbahnen bei 5-7jaehrigen Kindern. Intuitive physics in action: Perceptual-motor knowledge about projectile motion in 5-7-year-old children. *Zeitschrift fuer Psychologie*, 204, 339-366.
- Lisberger, S. G., Evinger, C., Johanson, G. W., & Fuchs, A. F. (1981). Relationship between eye acceleration and retinal image velocity during foveal smooth pursuit eye movements in man and monkey. *Journal of Neurophysiology*, 46, 229-249.
- MacLeod, M. S., & Turnbull, O. H. (1999). Motor and perceptual factors in pseudoneglect. *Neuropsychologia*, 37, 707-713.
- Mandler, J. M. (1983). Representation. In J. H. Flavell & E. M. Markman (Eds.), *Handbook of child psychology: cognitive development* (Vol. 3, p. 420-494). New York: Wiley.

- Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, *379*, 649-652.
- Mateeff, S., & Gourevich, A. (1983). Peripheral vision and perceived visual direction. *Biological Cybernetics*, *49*, 111-118.
- Mayhew, J. E., & Anstis, S. M. (1972). Movement aftereffects contingent on color, intensity, and pattern. *Perception and Psychophysics*, *12*, 77-85.
- McBeath, M. K., Morikawa, K., & Kaiser, M. K. (1992). Perceptual bias for forward-facing motion. *Psychological Science*, *3*, 362-367.
- McBeath, M. K., & Shepard, R. N. (1989). Apparent motion between shapes differing in location and orientation: A window technique for estimating path curvature. *Perception and Psychophysics*, *46*, 333-337.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naïve beliefs about the motion of objects. *Science*, *210*, 1139-1141.
- McCloskey, M., & Kohl, D. (1983). Naïve physics: The curvilinear impetus principle and its role in interactions with moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *9*, 146-156.
- McNamara, T. P., & Diwadkar, V. A. (1997). Symmetry and asymmetry of human spatial memory. *Cognitive Psychology*, *34*, 160-190.
- Mead, A. M., & McLaughlin, J. P. (1991, April). *Eye movements and aesthetic preference*. Paper presented at the annual meeting of the Eastern Psychological Association, New York City.
- Mead, A. M., & McLaughlin, J. P. (1993). The roles of handedness and stimulus asymmetry in aesthetic preference. *Brain and Cognition*, *20*, 300-307.
- Metzger, W. (1932). Versuch einer gemeinsamen Theorie der Phaenomene Fröhlichs und Hazelhoffs und Kritik ihrer Verfahren zur Messung der

- Empfindungszeit. An attempt at a common theory of Fröhlich's and Hazelhoff's phenomena and a critique of their procedure for measuring sensation time. *Psychologische Forschung*, 16, 176-200.
- Michotte, A. (1963). *The perception of causality* (T. R. Miles & E. Miles, Trans.). New York: Basic Books. (Original work published 1946)
- Michotte, A. (1991). The perception of the „tool effect“. In G. Thinès, A. Costall, & G. Butterworth (Eds.), *Michotte's experimental phenomenology of perception*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. (Original work published 1951)
- Milner, A. D. (1999). Neuropsychological studies of perception and visuomotor control. In G. W. Humphreys, J. Duncan, & e. al. (Eds.), *Attention, space, and action: Studies in cognitive neuroscience*. (p. 217-231). London: Oxford University Press.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford: Oxford University Press.
- Mitrani, L., & Dimitrov, G. (1978). Pursuit eye movements of a disappearing moving target. *Vision Research*, 18, 537-539.
- Mitrani, L., Dimitrov, G., Yakimoff, N., & Mateeff, S. (1979). Oculomotor and perceptual localization during smooth eye movements. *Vision Research*, 19, 609-612.
- Müsseler, J., & Aschersleben, G. (1998). Localizing the first position of a moving stimulus: The Froehlich effect and an attention-shifting explanation. *Perception and Psychophysics*, 60, 683-695.
- Müsseler, J., & Neumann, O. (1992). Apparent distance reduction with moving stimuli (Tandem Effect): Evidence for an attention-shifting model. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, 54, 246-266.

- Müsseler, J., Van Der Heijden, A. H. C., Mahmud, S. H., Deubel, H., & Ertsey, S. (1999). Relative mislocalization of briefly presented stimuli in the retinal periphery. *Perception and Psychophysics*, *61*, 1646-1661.
- Munger, M. P., & Owens, T. R. (2004). Representational momentum and the flash-lag effect. *Visual Cognition*, *11*, 81-103.
- Nagai, M., Kazai, K., & Yagi, A. (2002). Larger forward memory displacement in the direction of gravity. *Visual Cognition*, *9*, 28-40.
- Nagai, M., & Yagi, A. (2001). The pointedness effect on representational momentum. *Memory and Cognition*, *29*, 91-99.
- Naido, R., & Salkind, N. J. (1990). Effect of input devices on eye and coordination in young children. *Perceptual and Motor Skills*, *70*, 984-986.
- Nelson, T. M., & MacDonald, G. A. (1971). Lateral organization, perceived depth and title preference in pictures. *Perceptual and Motor Skills*, *33*, 983-986.
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature*, *370*, 256-257.
- O'Regan, J. K. (1984). Retinal versus extraretinal influences in flash localization during saccadic eye movements in the presence of a visible background. *Perception and Psychophysics*, *36*, 1-14.
- Osaka, N. (1977). Effect of refraction on perceived locus of a target in the peripheral visual field. *Journal of Psychology*, *95*, 59-62.
- Palmer, S. E. (1978). Fundamental aspects of cognitive representation. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (p. 259-303). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pantzer, T. M., & Freyd, J. J. (1989). *Searching for a mass effect for representational momentum*.
- Pellizzer, G., & Hauert, C.-A. (1996). Visuomanual aiming movements in 6- to 10-year-old children: Evidence for an asymmetric and asynchronous development of information processes. *Brain and Cognition*, *30*, 175-193.

- Proffitt, D. R. (1988). The effect of configural orientation on perceived trajectory in apparent motion. *Perception and Psychophysics*, 43, 465-474.
- Pylyshyn, Z. (2003). Return of the mental image: Are there really pictures in the brain? *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 113-118.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88, 16-45.
- Pylyshyn, Z. W. (2002). Mental imagery: In search of a theory. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 157-238.
- Ramachandran, V. S., & Anstis, S. M. (1986). The perception of apparent motion. *Scientific American*, 254, 102-109.
- Ramachandran, V. S., Armel, C., Foster, C., & Stoddard, R. (1998). Object recognition can drive motion perception. *Nature*, 395, 852-853.
- Ranney, M. (1989). Internally represented forces may be cognitively penetrable: Comment on Freyd, Pantzer, and Cheng (1988). *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 399-402.
- Rauch, J., Daum, M. M., Frick, A., & Wilkening, F. (2003). *Die Rolle der Sensumotorik bei der Grössengewichtstäuschung*. Posterpräsentation im Rahmen des 8. Kongress der Schweizerischen Gesellschaft für Psychologie (SGP/SSP), Bern, 14.-15. Oktober 2003.
- Raymond, J. E., & Isaak, M. (1998). Successive episodes produce direction contrast effects in motion perception. *Vision Research*, 38, 579-590.
- Reed, C. L., & Vinson, N. G. (1996). Conceptual effects on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 839-850.

- Roelofs, C. O. (1935). Die optische Lokalisation. *Archiv fuer Augenheilkunde*, 109, 395-415.
- Rosenbaum, D. A. (1975). Perception and extrapolation of velocity and acceleration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1, 395-403.
- Ross, R. G., Radant, A. D., & Hommer, D. W. (1993). A developmental study of smooth pursuit eye movements in normal children from 7 to 15 years of age. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 32, 783-791.
- Runeson, S. (1974). Constant velocity: Not perceived as such. *Psychological Research*, 37, 3-23.
- Runeson, S. (1975). Visual prediction of collision with natural and nonnatural motion functions. *Perception and Psychophysics*, 18, 261-266.
- Sadalla, E. K., Burroughs, W. J., & Staplin, L. J. (1980). Reference points in spatial cognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6, 516-528.
- Sakata, H., Taira, M., Kusunoki, A., Murata, A., & Tanaka, Y. (1997). The parietal association cortex in depth perception and visual control of hand action. *Trends in Neuroscience*, 20, 350-357.
- Sakata, H., Taira, M., Kusunoki, A., Murata, A., Tanaka, Y., & Tsutsui, K. (1998). Neural coding of 3D features of objects for hand action in the parietal cortex of the monkey. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B353, 1363-1373.
- Sampaio, E., & Chokron, S. (1992). Pseudoneglect and reversed pseudoneglect among left-handers and right-handers. *Neuropsychologia*, 30, 797-805.
- Scaife, M., & Bond, R. (1991). Developmental changes in children's use of computer input devices. *Early Child Development and Care*, 69, 19-38.

- Schenkenberg, T., Bradford, D. C., & Ajax, E. T. (1980). Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurologic impairment. *Neurology*, 30.
- Schmerler, J. (1976). The visual perception of accelerated motion. *Perception*, 5, 167-185.
- Schwartz, D. L., & Black, T. (1999). Inferences through imagined actions: Knowing by simulated doing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 116-136.
- Senior, C., Barnes, J., Giampietro, V., Simmons, A., Bullmore, E. T., Brammer, M., & David, A. S. (2000). The functional neuroanatomy of implicit-motion perception or 'representational momentum.'. *Current Biology*, 10, 16-22.
- Senior, C., Ward, J., & David, A. S. (2002). Representational momentum and the brain: An investigation into the functional necessity of V5/MT. *Visual Cognition*, 9, 81-92.
- Shea, S. L., & Aslin, R. N. (1984). Development of horizontal smooth pursuit in human infants. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 25, 263.
- Shea, S. L., & Aslin, R. N. (1990). Oculomotor responses to step-ramp targets by young human infants. *Vision Research*, 30, 1077-1092.
- Shepard, R. N. (1981). Psychological complementarity. In M. Kubovy & J. R. Pomerantz (Eds.), *Perceptual organization* (p. 279-341). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Shepard, R. N. (1984). Ecological constraints on internal representation: Resonant kinematics of perceiving, imagining, thinking, and dreaming. *Psychological Review*, 91, 417-447.
- Shepard, R. N. (1994). Perceptual-cognitive universals as reflections of the world. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1, 2-28.



- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171:, 701-703.
- Sheth, B. R., & Shimojo, S. (2001). Compression of space in visual memory. *Vision Research*, 41, 329-341.
- Shiffrar, M., & Freyd, J. J. (1990). Apparent motion of the human body. *Psychological Science*, 1, 257-264.
- Shiffrar, M., & Freyd, J. J. (1993). Timing and apparent motion path choice with human body photographs. *Psychological Science*, 4, 379-384.
- Shioiri, S., Cavanagh, P., Miyamoto, T., & Yaguchi, H. (2000). Tracking the apparent location of targets in interpolated motion. *Vision Research*, 40, 1365-1376.
- Stevens, J. A., Fonlupt, P., Shiffrar, M., & Decety, J. (2000). New aspects of motion perception: Selective neural encoding of apparant human movements. *NeuroReport*, 11, 109-115.
- Stevens, S. S. (1962). The surprising simplicity of sensory metrics. *American Psychologist*, 17, 29-39.
- Strommen, E. F., Revelle, G. L., Medoff, L. M., & Razavi, S. (1996). Slow and steady wins the race? Three-year-old children and pointing device use. *Behavior and Information Technology*, 15, 57-64.
- Thornton, I. M. (1997). *The perception of dynamic human faces*. Unpublished doctoral dissertation.
- Thornton, I. M. (2002). The onset repulsion effect. *Spatial Vision*, 15, 219-243.
- Thornton, I. M., Vuong, Q. C., Knappmeyer, B., & Bülthoff, H. H. (2002). Representational momentum using complex, continuous motion. *Journal of Vision*, 2, 375a.

- Tse, P. U., & Cavanagh, P. (1995). Parsing occurs before line motion. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 36, 4.
- Tse, P. U., & Cavanagh, P. (2000). Chinese and Americans see opposite apparent motions in a Chinese character. *Cognition*, 74, B27-B32.
- Tse, P. U., Cavanagh, P., & Nakayama, K. (1998). The role of parsing in high-level motion processing. In T. Watanabe (Ed.), *High-level motion processing - computational, neurobiological and psychophysical perspectives*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Tversky, B., & Schiano, D. J. (1989). Perceptual and conceptual factors in distortions in memory for graphs and maps. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 387-398.
- Ullman, S. (1979). *The interpretation of visual motion*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Verfaillie, K., & Daems, A. (2002). Representing and anticipating human actions in vision. *Visual Cognition*, 9, 217-232.
- Verfaillie, K., & d'Ydewalle, G. (1991). Representational momentum and event course anticipation in the perception of implied periodical motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 302-313.
- Vinson, N. G., & Reed, C. L. (2002). Sources of object-specific effects in representational momentum. *Visual Cognition*, 9, 41-65.
- Wattam-Bell, J. (1990). The development of maximum velocity limits for direction discrimination in infancy. *Perception*, 19.
- Wattam Bell, J. (1996). Visual motion processing in one-month-old infants: Habituation experiments. *Vision Research*, 36, 1679-1685.
- Wertheimer, M. (1912). Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie*, 61, 161-265.

- Whitney, D., & Cavanagh, P. (2000). The position of moving objects. *Science*, *289*, 1107a.
- Whitney, D., & Cavanagh, P. (2002). Surrounding motion affects the perceived locations of moving stimuli. *Visual Cognition*, *9*, 139-152.
- Whitney, D., Murakami, I., & Cavanagh, P. (2000). Illusory spatial offset of a flash relative to a moving stimulus is caused by differential latencies for moving and flashed stimuli. *Vision Research*, *40*, 137-149.
- Wilkening, F. (1980). Development of dimensional integration in children's perceptual judgment: Experiments with area, volume, and velocity. In F. Wilkening, J. Becker, & T. Trabasso (Eds.), *Information integration by children*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wilkening, F. (1981). Integrating velocity, time, and distance information: A developmental study. *Cognitive Psychology*, *13*, 231-247.
- Wilkening, F., & Martin, C. (2004). How to speed up to be ni time: Action-judgment dissociations in children and adults. *Swiss Journal of Psychology*, *63*, 17-29.
- Yasui, S., & Young, L. R. (1975). Perceived visual motion as effective stimulus to pursuit eye movement system. *Science*, *190*, 906-908.